



**Débora Lopes Pilotto Domingues**

**MODELAGEM GEOLÓGICA DO ESTACIONAMENTO DO CAMPUS  
DA PUC-Rio**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2009



UFRJ

**Débora Lopes Pilotto Domingues**

## **MODELAGEM GEOLÓGICA DO ESTACIONAMENTO DO CAMPUS DA PUC-Rio**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Eurípedes do Amaral Vargas Júnior

Rio de Janeiro

Março de 2009

DÉBORA, Lopes Pilotto Domingues

**Modelagem Geológica do Estacionamento do Campus da PUC-Rio** / Débora Lopes Pilotto Domingues - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009.

, 111 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Eurípedes do Amaral Vargas Júnior

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Eurípedes do Amaral Vargas Júnior. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Débora Lopes Pilotto Domingues

## MODELAGEM GEOLÓGICA DO ESTACIONAMENTO DO CAMPUS DA PUC-Rio

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Eurípedes do Amaral Vargas Júnior

Aprovada em: 31 de março de 2009

Por:

---

Orientador: Eurípedes do Amaral Vargas Júnior (UFRJ)

---

Helena Polivanov (UFRJ)

---

Franklin dos Santos Antunes (PUC-Rio)

Ao meu marido José,  
pelo carinho e companheirismo.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais, minha irmã Isabel, minha tia Iara e minha prima Natália pelo orgulho e felicidade de tê-los como família.

Ao meu marido José pelo apoio incondicional e por todo o amor, carinho e compreensão.

Ao professor Eurípides Vargas pela orientação.

Ao CNPq pela bolsa concedida, e a UFRJ pela boa formação acadêmica.

Ao engenheiro Patrício Pires pela imensa ajuda na realização dos ensaios geofísicos e no manuseio do programa Rockworks.

Ao Professor Franklin pela ajuda e conselhos em relação a geologia da área estudada.

Ao Professor Claudio Amaral pelas contribuições e material fornecido.

Ao Professor Claudio Limeira pela orientação bibliográfica.

Aos amigos de laboratório Taíse, Mônica, Guilherme pelo companheirismo e incentivo.

Aos amigos Fernanda, Thays, Priscila, Amanda, Renata, Rodrigo, Reynaldo pelo apoio, incentivo, agradável convivência e amizade, dentro e fora da universidade.

A todos meus professores que contribuíram para minha formação acadêmica, cada um de um modo diferente.

A todos aqueles que direta ou indiretamente tenham colaborado na realização deste trabalho.

## Resumo

DOMINGUES, Débora Lopes Pilotto. **Modelagem Geológica do Estacionamento do Campus da PUC-Rio**. 2009. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente trabalho objetiva a realização de uma modelagem geológica do pátio do estacionamento da PUC-Rio, local onde será construída a Estação Gávea da Linha 4 do Metrô da Cidade do Rio de Janeiro, a fim de auxiliar o Consórcio Rio Barra na concepção do projeto da Estação. O trabalho visa a obtenção de um modelo geológico tridimensional que proporcione as informações necessárias para o planejamento e dimensionamento da campanha de investigação geotécnica. As informações obtidas no modelo serão úteis para a especificação dos equipamentos a serem empregados na investigação bem como para a estimativa do valor da campanha que será empregada na sua fase de licitação.

O modelo geológico foi concebido a partir das informações dos boletins das sondagens executadas no local na última década e de sondagens geofísicas executadas com o radar de penetração. As informações contidas em cerca de 30 boletins foram catalogadas com o uso do programa computacional Log Plot<sup>®</sup> e serviram como base para a construção de um modelo geológico preliminar utilizando o programa computacional Rock Works<sup>®</sup>. O modelo preliminar apresentou algumas inconsistências devido as sondagens terem sido realizadas por diferentes empresas em diferentes épocas, mas sobretudo, devido a complexidade geológica do local - a antiga calha e drenagem do Rio Rainha.

A fim de minimizar as inconsistências do modelo, foi realizada uma campanha de investigação geofísica empregando o radar de penetração com uma antena de 50MHz. As informações obtidas pela geofísica foram úteis para delimitar as camadas de matacões e para a definição do estrato rochoso. Estas informações, georreferenciadas, foram incorporadas ao modelo preliminar gerando um novo modelo mais condizente com a geologia local.

Palavras-chave: modelagem geológica, georradar, dados de investigação de campo

## Abstract

DOMINGUES, Débora Lopes Pilotto. **Geological Modeling of PUC-Rio Campus Parking Ground**. 2009. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This dissertation presents a geological model of the parking space from PUC-Rio Campus, which will house the Gavea Metro Station. The main objective of this work is to develop a 3-D geological model that could help conceiving its design and supply the pieces information needed for planning the geotechnical site investigation.

A preliminary geological model was conceived from the information derived from more than 30 borehole plots. They were organized using the software Log Plot<sup>®</sup> and used to build the preliminary geological model using the software Rock Works<sup>®</sup>. This model showed some geological inconsistencies since it was conceived from borehole data that were provided by different contractors at singular times and, mainly, by the difficult geological ground formed by the River Rainha.

In order to minimize these inconsistencies, a geophysical site investigation using a ground penetrating radar (gpr) coupled to a 50MHz unshielded antenna was carried out. The information provided by the gpr was useful to delineate boulder layers and the rock surface. These pieces of information were incorporated to the preliminary model generating a model more consistent to the local geology.

Key-Words: geological modeling, ground penetrating radar, site investigation data



## Lista de Figuras

CAPÍTULO 1	
Figura 1.1 - Traçado proposto para a Linha 4 (Una Arquitetos,2009).....	2
Figura 1.2 - Seção proposta para a Linha 4(Una Arquitetos,2009).....	3
Figura 1.3 - Gávea e arredores.....	4
CAPÍTULO 2	
Figura 2.1 - Subdivisão do Sistema Orogênico da Mantiqueira (Heilbron <i>et al</i> ,2004).....	7
Figura 2.2 - Seção estrutural composta do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais. (Heilbron <i>et al</i> ,2004).....	9
Figura 2.3 - Domínios Tectono-magmáticos do Estado do Rio de Janeiro e Áreas adjacentes (Silva <i>et al.</i> , 2001).....	10
Figura 2.4 -Mapa de situação do Estacionamento do Campus da PUC-Rio indicando a futura estação (imagem cedida pelo Consórcio Rio-Barra).....	13
Figura 2.5- Diagrama Esquemático da localização das trincheiras e sondagens executadas por Brito (1981).....	15
Figura 2.6 – Foto do talude estudado no Campus da PUC mostrando as trincheiras escavadas (Brito, 1981).....	15
Figura 2.7 – Boletim de sondagem do furo SM-6 (Brito, 1981).....	17
Figura 2.8 – Boletim de sondagem do furo SM-4 (Brito, op. cit.).....	17
CAPÍTULO 3	
Figura 3.1 - Modelo esquemático da disposição dos equipamentos que compõem o sistema de GPR utilizado nesta pesquisa (Moura <i>et al</i> , 2006).....	21
Figura 3.2-Equipamento utilizados nas investigações .....	26
Figura 3.3- Antena GPR de 50 MHz.....	27
Figura 3.4 – Unidade de controle acoplada na mochila da marca MALA.....	28
Figura 3.5- Monitor RAMAC.....	29
Figura 3.6- GPS Geodésico.....	30
CAPÍTULO 4	
Figura 4.1- Planta de situação das sondagens e do levantamento geofísico.....	33
Figura 4.2- Seção A-A´ do modelo geológico preliminar.....	34
Figura 4.3- Seção B-B´ do modelo geológico preliminar.....	35
Figura 4.4- Seção C-C´ do modelo geológico preliminar.....	35
Figura 4.5 - Imagem do Estacionamento do Campus.....	37
Figura 4.6 - Seção A-A´ após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr.....	38
Figura 4.7 - Seção B-B´ após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr.....	38
Figura 4.8 - Seção C-C´ após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr.....	39

## Lista de Tabelas

### CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - Descrição dos sedimentos encontrado na área estudada.....	14
Tabela 2.2 - Análises Químicas Totais de Amostras do perfil de Alteração em porcentagem-peso (Adaptado de Brito, 1981).....	16
Tabela 2.3 – Disposição das camadas e alguns aspectos morfológicos.....	18

### CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Constante dielétrica ( $k$ ) e condutividade elétrica ( $\sigma$ ), observadas nos materiais, comuns para as frequências utilizadas no GPR (Porsani,1999)..	23
Tabela 3.2 -Frequência central das antenas versus profundidade máxima de penetração (Porsani,1999).....	25
Tabela 3.3- Frequência Central das antenas versus resolução vertical (adaptado de Annan,1992).....	25

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
Lista de figuras .....	ix
Lista de tabelas .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 GEOLOGIA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO .....	6
2.1. Geologia Regional .....	6
2.2 Geologia Local.....	11
3 MATERIAIS & MÉTODOS.....	20
3.1. Descrição do Princípio do GPR .....	20
3.1.1 Introdução .....	20
3.1.2 Histórico .....	21
3.1.3 Fundamentos Teóricos .....	22
3.1.4 Profundidade de Penetração e Resolução .....	24
3.2 Descrição dos Equipamentos Utilizados .....	25
3.2.1 GPR ( <i>Ground Penetrating Radar</i> ) .....	25
3.2.2 Antenas GPR .....	26
3.2.3 Unidade de Controle – GPR .....	27
3.2.4 Monitor RAMAC .....	28
3.2.5 Sistema GPS Geodésico .....	29
3.3 Aquisição dos Dados .....	30
3.4 Processamento dos Sinais .....	31
3.5 Levantamento das Sondagens .....	31
3.6 Modelagem Geológica .....	32
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
5 CONCLUSÕES .....	40
Referências Bibliográficas .....	42
Apêndice A – Boletins de Sondagens.....	46
Apêndice B – Modelo Geológico Preliminar .....	78
Apêndice C – Radargramas .....	90
Apêndice C.1 – Modelo Geológico.....	107

## INTRODUÇÃO

A escolha do Brasil para sediar a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e a inclusão da cidade do Rio de Janeiro entre as 4 (quatro) cidades-sede finalistas para as Olimpíadas de 2016 proporcionarão a realização de obras de infra-estrutura na Cidade, especialmente àquelas que visem a facilitar o deslocamento de pessoas.

As obras, previstas nos cadernos de encargos entregues à FIFA e ao Comitê Olímpico Internacional, receberão recursos das três esferas administrativas. Em matéria veiculada no jornal O Globo, de 12/02/2009, o governador do Estado do Rio de Janeiro, Sérgio Cabral, recebeu a promessa da ministra da Casa Civil, Dilma Rousseff, de destinar para a implantação da Linha 4 do metrô parte do dinheiro do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) da Mobilidade. Do outro parceiro, o prefeito Eduardo Paes, recebeu o apoio, concretizado por meio da assinatura de convênio, visando a esforços conjuntos para levantar recursos que serão investidos na expansão do ramal.

Segundo o Governador Sérgio Cabral, a expansão metroviária é uma demanda do crescimento da cidade, prioritária em sua política de valorização do transporte coletivo, mas, em termos imediatos, também vai ajudar os deslocamentos de torcedores durante os jogos da Copa do Mundo de 2014 e atenderá a uma das exigências do Comitê Olímpico Internacional (COI) para dar ao Rio a vitória na disputa com Chicago, Madri e Tóquio para sede das Olimpíadas de 2016.

Originalmente, o projeto da Linha 4 previa a ligação de Botafogo, na Zona Sul à Barra da Tijuca, na Zona Oeste, como ilustra a Figura 1. A linha 4 do metrô compreendia, na versão original, as estações do Morro de São João, Humaitá, Gávea, São Conrado e Jardim Oceânico,

a subestação de São Conrado e os centros de manutenção e controle operacional, que ficariam nas proximidades da estação Jardim Oceânico. O trajeto teria 16,3 quilômetros de trilhos, atendendo uma demanda estimada de 120 mil passageiros por dia.



Figura 1.1 – Traçado proposto para a Linha 4 (Una Arquitetos, 2009)

Os estudos de impacto ambiental do referido projeto revelaram que a primeira etapa da linha terá 90% do seu traçado escavado em rocha, vide Figura 1.2, e apontaram a necessidade de remoção de moradores da Vila União, na Barra da Tijuca, e de retirada de 1.500m<sup>2</sup> de vegetação na região do Gávea Golf Club.

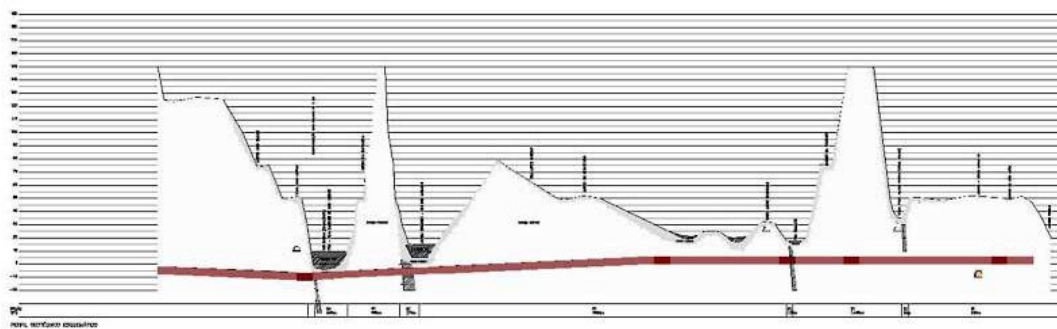


Figura 1.2 – Seção proposta para a Linha 4 (Una Arquitetos, 2009)

Porém, em meados de 2008, o Governo do Estado montou um grupo de trabalho para estudar um novo traçado para a referida linha, saindo de Ipanema, passando pelo Leblon, Gávea e São Conrado, para atender a um número maior de pessoas. O grupo era formado pelo Gabinete Civil, a Secretaria de Obras e a Secretaria de Transportes. O estudo de demanda, realizado pelo Grupo, revelou ser a Zona Sul carioca, especialmente os bairros de Leblon, Ipanema e Copacabana, o destino de maior parte dos moradores da Barra, com movimentação de passageiros durante todos os dias e em todos os horários.

O novo projeto, apresentado em fevereiro de 2009 pelo secretário estadual de Transportes, Júlio Lopes, divide o projeto da linha 4 em dois subprojetos: um, licitado em 1998, vencido pelo Consórcio Rio Barra, que vai da Gávea ao Jardim Oceânico, na Barra, com três estações (Gávea, São Conrado e Jardim Oceânico), e outro, a ser licitado, que será a expansão da Linha 1, saindo da estação General Osório, em Ipanema, até a Gávea, com a construção de mais três estações intermediárias (Praça Nossa Senhora da Paz, em Ipanema, Jardim de Alah e Leblon).

Com o traçado alterado, a Linha 4 irá do Jardim Oceânico até a Gávea, passando por São Conrado, como estava previsto. A conexão com a Linha 1 dar-se-á na Gávea, com extensão deste ramal desde a Praça General Osório, em Ipanema. O novo percurso será de 13,5 quilômetros, 2,8 quilômetros a menos e mais estações que o traçado anterior, além de atender uma demanda maior de passageiros: 230 mil/dia.

Segundo o Consórcio Rio Barra, a estação da Gávea será localizada no pátio do estacionamento da PUC-Rio (Tapajoz, 2008). O local, delineado pelo círculo amarelo na Figura 1.3, apresenta uma geologia complexa, devido estar na antiga calha de drenagem do Rio Rainha.



Figura 1.3 – Gávea e Arredores

Segundo informações colhidas junto ao Consórcio Rio Barra (Tapajoz, *op. cit.*), a estação será subterrânea e a sua cota de fundo estará situada a 50m abaixo da superfície do terreno. A escavação da referida estrutura requererá um bom conhecimento do meio geológico, para minimizar os custos relativos a sua construção bem como maximizar a sua segurança, evitando assim os percalços encontrados durante as obras de construção da Estação de Pinheiros do Metrô de São Paulo.

Neste sentido, o presente trabalho objetiva a realização de uma modelagem geológica do pátio do estacionamento da PUC-Rio a fim de auxiliar o Consórcio Rio Barra na concepção do projeto da Estação Gávea. Adicionalmente, o trabalho visa a obtenção de um modelo geológico tridimensional que proporcione as informações necessárias para o planejamento e dimensionamento da campanha de investigação geotécnica. As informações obtidas no modelo serão úteis para a especificação dos equipamentos a serem empregados na investigação bem como para a estimativa do valor da campanha que será empregada na sua fase de licitação.

O trabalho está organizado em cinco capítulos. O capítulo introdutório apresenta a sua importância, o justifica e descreve o seu objetivo. O capítulo seguinte apresenta uma breve revisão sobre a geologia do Rio de Janeiro, contextualizando o bairro da Gávea e adjacências. No capítulo 3 são apresentados os equipamentos utilizados no trabalho bem como é descrita a metodologia empregada na confecção do modelo geológico. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos e finalmente, no Capítulo 5, são tecidas as considerações finais sobre o modelo desenvolvido.



## **CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

### **2.1 - Geologia Regional**

A área estudada situa-se no Estado do Rio de Janeiro, Região sudeste do País e está geotectonicamente contida na Província da Mantiqueira, uma das províncias estruturais definidas por Almeida (1981). Ela cobre uma área de 700.000km<sup>2</sup> e representa a mais complexa província estrutural afetada pelo Ciclo Orogênico neoproterozóico.

A Província Mantiqueira representa um sistema orogênico Neoproterozóico que engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o Sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul.

A província estende-se do paralelo 33°S, no Uruguai, até o sul da Bahia, no paralelo 15°S, por cerca de 3.000km de extensão e com largura média de 200km. Está disposta paralelamente à costa brasileira, junto às margens orientais dos crátons Rio de La Plata e São Francisco. A Província Mantiqueira representa uma entidade geotectônica com franca orientação NE instalada ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, constituindo, juntamente com a Faixa Brasília, a Cunha de Guaxupé e os metassedimentos da Faixa Alto Rio Grande, que formam o arcabouço geotectônico do Sudeste Brasileiro.

A evolução tectônica dos terrenos pré-cambrianos aflorantes no Estado do Rio de Janeiro tem sido há décadas objeto de numerosos estudos e intensas discussões no meio acadêmico. Diversos trabalhos de cunho regional postulam que as características tectono-termais da província são resultantes de processos de subducção, seguido de uma ou mais colisões no Neoproterozóico, quando da aglutinação ou colagem do Gondwana Ocidental (*e.g.*, Machado *et al.*, 1996).

Segundo Almeida (1981), o arcabouço geotectônico da Região Sudeste do Brasil é formado por um núcleo estável no Neoproterozóico, designado de Cráton do São Francisco. Ele é circundado por orógenos instalados no Neoproterozóico, durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana, cuja estabilização desempenhou importante papel na aglutinação deste setor no Gondwana conforme descrito por Fuck *et al.* (1993). Esses orógenos foram inicialmente designados de Faixa Brasília a oeste, Faixa Araçuaí a leste e Faixa Ribeira a sul-sudeste, como pode ser visto na Figura 2.1. Nesta Figura o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozóicos.

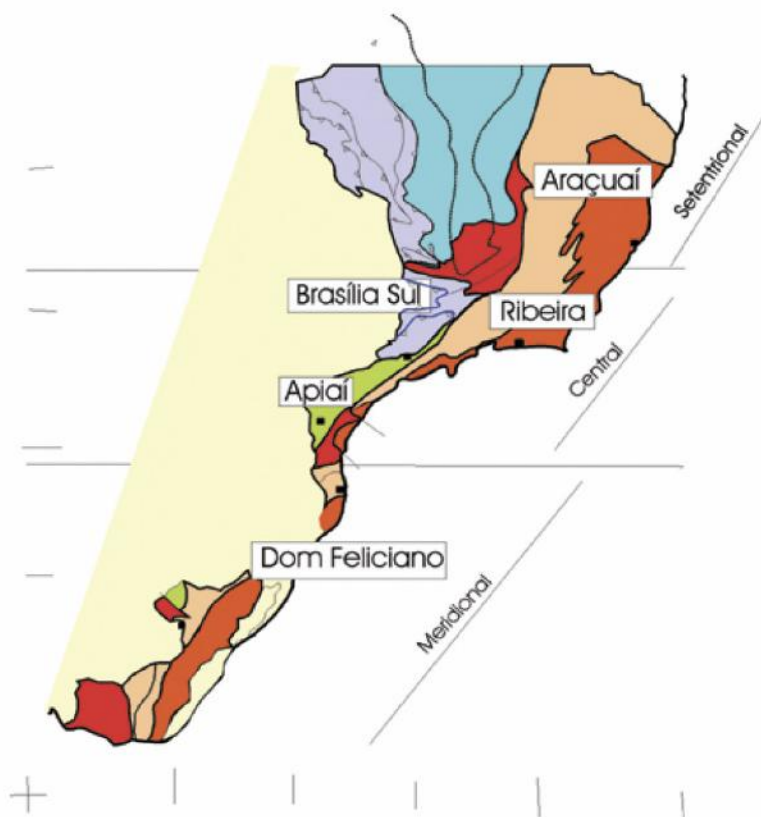


Figura 2.1- Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira (Heilbron *et al.*, 2004)

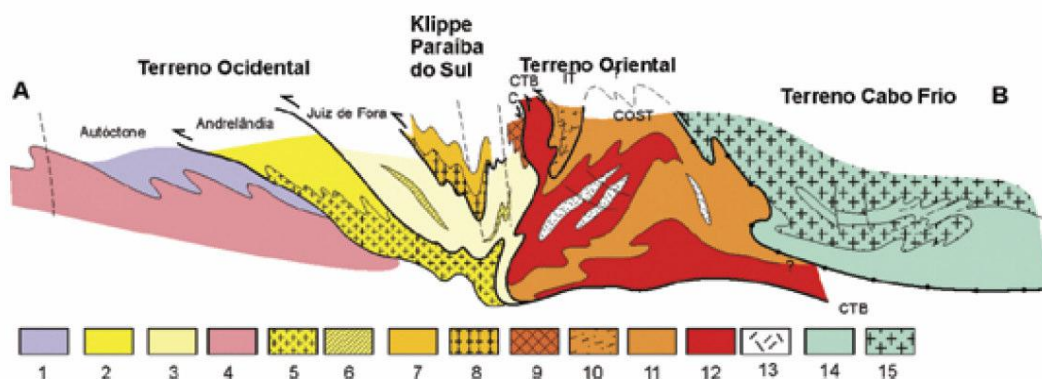
Para Alkmim *et al.* (1993), estas faixas bordejam a denominada Placa Sanfranciscana, cuja porção interna seria composta pelas rochas arqueanas e paleoproterozóicas do Cráton do São Francisco e suas coberturas sedimentares neoproterozóicas que compõem o Grupo Bambuí.

Fuck *et al.* (1993) afirmam que a identificação de associações petrotectônicas de fundo oceânico sugere que esta colisão teria sido o ápice do processo de convergência experimentado pelas citadas massas cratônicas, envolvendo o consumo de litosfera oceânica em uma zona de subducção com provável mergulho para W.

Na concepção original de Almeida (1977), a Faixa Araçuaí estende-se pelo limite oriental do cráton do São Francisco também com orientação N-S. É limitada a norte pelo próprio cráton do São Francisco e a sul por uma inflexão para a direção NE-SW que constitui o *trend* regional da Faixa Ribeira. De acordo com Uhlein *et al.* (1999), o padrão tectônico da faixa sugere empurrões com vergência para oeste, em direção ao cráton do São Francisco, no período de 650 a 550 Ma.

Pedrosa-Soares *et al.* (1992) sugeriram a oceanização das margens continentais na "Faixa Araçuaí". Estes autores afirmam que essa inversão estaria associada à subducção da crosta oceânica para leste.

A Faixa Ribeira, segundo Almeida *et al.* (1973), constitui uma entidade geotectônica do Neoproterozóico. O Estado do Rio de Janeiro localiza-se na porção interna deste cinturão. Então, a compartimentação tectônica dos terrenos que compõem a geologia deste estado está vinculada à evolução tectono-metamórfica da "Faixa Ribeira". Heilbron *et al.* (1999) considera esta evolução orogênica como a mais nova no cenário das colagens brasileiras/pan-africanas do segmento crustal considerado e foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos. A Figura 2.2 mostra uma seção estrutural composta pelo orógeno Ribeira.



Legenda: Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3- Megasequência Andrelândia nos domínios Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6- Associações do embasamento (Complexos Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8): 7- Grupo Paraíba do Sul; 8- Complexo Quirino; Terreno Oriental (9-13): 9- Sequência Cambuci; 10- Sequência Italva; 11- Sequência Costeiro; 12- Arco Magmático Rio Negro; 13- Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio (14-15): 14- Sequências Búzios e Palmital; 15- Complexo Região do Lagos

Figura 2.2 - Seção estrutural composta do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais (Heilbron *et al.*, 2004)

Segundo Almeida *et al.* (1973), o Cinturão Paraíba ou Faixa Ribeira no Estado do Rio de Janeiro compreende um segmento com orientação NE-SW deformado e metamorfozizado no Neoproterozóico, sendo constituído por rochas ígneas e metamórficas de alto grau de metamorfismo que bordejam a extremidade SE do Cráton do São Francisco (Trown *et al.*, 2000).

Segundo Machado *et al.* (1993b), a feição estrutural mais expressiva da Faixa Ribeira, corresponde a zonas de cisalhamento dúcteis em escala regional, com disposição subparalela ao *trend* geral do cinturão, visíveis em mapas geológicos em diferentes escalas, fotos aéreas e imagens de satélite.

De acordo com Dehler *et al.* (2002), estas zonas de cisalhamento são de baixo e alto ângulo de mergulho e estão, associadas à expressivas faixas de milonitos.

Um considerável avanço para o entendimento da evolução tectônica local foi a caracterização de dois eventos orogênicos sucessivos. No âmbito da "Faixa Ribeira", conforme disposto em Figueiredo & Campos Neto (1993), foi a caracterização da Orogênese Brasileira I (> 600 Ma) na porção oriental do estado e a Orogênese Rio Doce (cerca de 560 Ma) na porção litorânea. A esses dois orógenos, mais recentemente, somou-se a Orogênese Búzios (cerca de 520 Ma) caracterizada por Schmitt *et al.* (1999).

Todos os domínios, conforme pode ser visto na Figura 2.3, sofreram efeitos das orogêneses neoproterozóicas, caracterizadas pelo metamorfismo e fusão parcial das rochas supracrustais e intracrustais, pela deformação contracional de baixo e alto ângulo de mergulho, seguida de cisalhamento transcorrente de expressão regional, e pela colocação de diversos corpos granitóides de dimensões variadas.

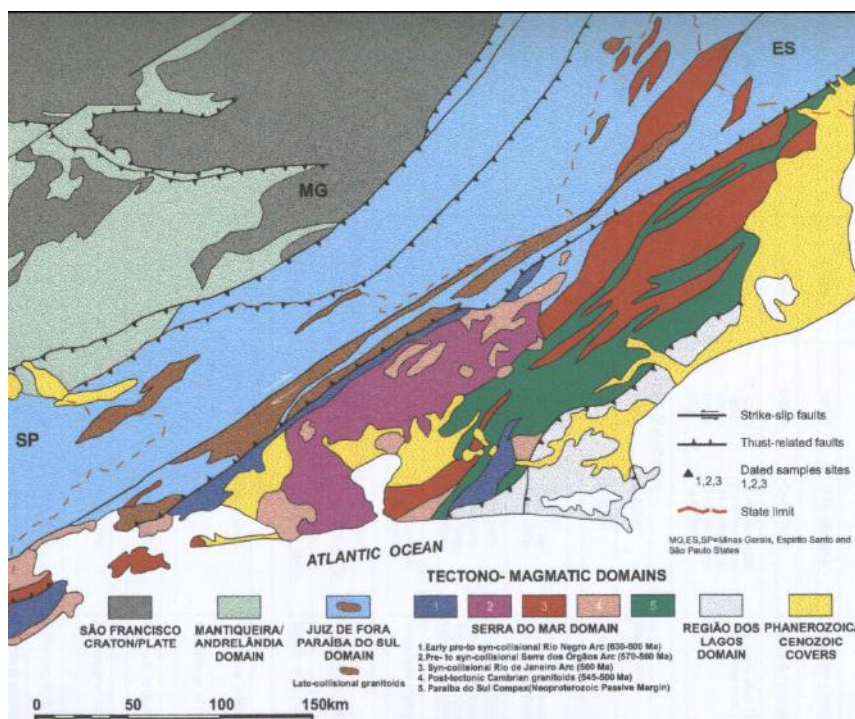


Figura 2.3 - Domínios tectono-magmáticos do Estado do Rio de Janeiro e áreas adjacentes

(Silva *et al.*, 2001)

O Estado do Rio de Janeiro faz parte do Domínio Serra do Mar, que ocupa a região centro-oriental, correspondendo geograficamente à "Microplaca" Serra do Mar, conforme descreve Campos Neto (2000). É composta por uma sucessão de arcos magmáticos com polaridade temporal e composicional de W para E, incluindo: (i) arco primitivo do tipo TTG (associações plutônicas de tonalitos, trondhjemitos e granodioritos) a W (Arco Rio Negro - 630-500 Ma); (ii) arco mais evoluído, do tipo cordilheirano maduro, mais a E (Arco Serra dos Órgãos - 570-560 Ma) e (iii) um arco sincolisional, na parte mais oriental, caracterizado por magmatismo crustal (Arco Rio de Janeiro - 560 Ma).

Além da sucessão de arcos, o domínio é ainda caracterizado por supracrustais que sofreram metamorfismo de baixa pressão/alta temperatura, na fácies anfibolito, com abundante fusão parcial *in situ* (Complexo Paraíba do Sul). Essa unidade está exposta ao longo de todo o Domínio. Na sua porção sudeste, as rochas que integram o chamado Domínio Região dos Lagos também sofreram cavalgamento, com vergência de topo para NW. Além disto, esse domínio apresenta um expressivo número de plútons pós-tectônicos, circunscritos, de idade Cambriana.

O Domínio Paraíba do Sul ocupa uma extensa faixa de orientação NE em toda a porção centro-norte e ocidental do estado, subparalela ao corredor de cisalhamento do rio Paraíba do Sul. É constituído por gnaisses kinzigíticos, xistos, quartzitos e mármore do Complexo Paraíba do Sul, metamorfizados nas fácies anfibolito e granulito, intercalados tectonicamente em rochas paleoproterozóicas representadas por ortogranulitos e ortognaisses tonalíticos do Complexo Juiz de Fora, e ortognaisses graníticos a granodioríticos da Suíte Quirino. De acordo com Hippertt (1990), na cidade do Rio de Janeiro e adjacências é reconhecida a Zona de Cisalhamento Dúctil de Niterói, entre outras que afetam os diferentes gnaisses, milonitizando-os em espessas e extensas faixas de direção NE-SW a ENE-WSW.

## 2.2 - Geologia Local

A área estudada localiza-se no bairro da Gávea, na Cidade do Rio de Janeiro, localizado entre a encosta do Morro Dois Irmãos e a Lagoa Rodrigo de Freitas.

A Lagoa Rodrigo de Freitas é ligada ao mar através do canal Jardim de Alah. Basicamente a sua Bacia Hidrográfica resume-se pelos rios do Macaco, Rainha e Cabeça.

Segundo Miranda (2007), a Lagoa Rodrigo de Freitas é caracterizada por uma estratigrafia interdigitada de sedimentos marinhos, continentais e transicionais, ocorridas devido às sucessivas transgressões e regressões marinhas, ocorridas desde o Pleistoceno, associadas aos depósitos coluvionares e aluvionares. Cordões arenosos trazidos pelas correntezas marinhas foram depositados na abertura da enseada, formando uma restinga que provocou o isolamento do corpo d'água. Este corpo d'água se transformou em uma laguna, que é a atual Lagoa Rodrigo de Freitas. Vale ressaltar que originalmente a Lagoa era uma pequena enseada.

De acordo com Silva & Silva (1987), a área-fonte dos sedimentos continentais são os maciços cristalinos do flanco sul da Serra da Carioca, que integra o Maciço da Tijuca e se estende desde a Barra da Tijuca até próximo ao Centro da cidade, pertencente ao Domínio Tectônico Alóctone Inferior da Faixa Ribeira, definida como um cinturão de dobramentos de idade Brasileira da província Mantiqueira. A topografia da serra é bastante acidentada, com cotas variando entre 0 e 768m e dominada por uma seqüência montanhosa alinhada segundo a direção NE-SW. Trata-se de uma seqüência de rochas gnáissicas, de idade pré-Cambriana, dividida nas unidades litológicas principais Ortognaisse/Gnaiss Facoidal, Biotita-Gnaiss e Leptinito, freqüentemente gradando para migmatitos, com ocorrência de granitóides, aplitos, pegmatitos, diques básicos e brechas. Prevaecem estruturas como falhas, fraturas, dobras e zonas de cisalhamentos. A alteração das rochas e formação dos sedimentos se dá,



principalmente, nessas zonas de maior fraqueza, sendo mais acelerada ainda nas encostas íngremes e nas rochas básicas.

A geologia da Gávea pode ser dividida basicamente por duas unidades geológicas. A primeira seria composta por sedimentos fluvio-lagunares, formados no Período Quaternário. Já a segunda unidade seria composta por rochas do embasamento (Ortognaisse/Gnaiss Facoidal, Biotita-Gnaiss e Leptinito), formadas no Pré-Cambriano.

A área de estudo consiste no local onde será construída a Estação Gávea da linha 4 do Metrô. A estação, delineada em amarelo na Figura 2.4, ocupará parte do estacionamento do Campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).



Figura 2.4- Mapa de situação do Estacionamento do Campus da PUC-Rio indicando a futura estação (imagem cedida pelo Consórcio Rio-Barra)

No Campus da PUC-Rio, a unidade geológica do quaternário é caracterizada por sedimentos, geotecnicaamente denominados solos transportados e pedologicamente



classificados como um neossolo flúvico. Já a unidade do Pré-Cambriano é formada por gnaisse facoidal e kinzigito.

A Tabela 2.1 mostra a descrição de alguns destes sedimentos encontrados na área. Maiores detalhes sobre a descrição destes sedimentos pode ser visto no apêndice A deste trabalho.

Tabela 2.1- Descrição de amostras de sedimentos provenientes de ensaio SPT na área estudada.

Sondagem	Descrição dos sedimentos	Profundidade (m)
SM-01	Argila mole com areia fina e média, cinza escura.	1,8 – 3,0
SM-01	Areia fina silto siltosa, fofa a pouco compacta cinzenta com mica.	3,0 – 6,0
SM-01	Argila muito arenosa mole cinza	6,0 – 9,0
SM-01	Areia fina siltosa, fofa cinza com mica	9,0 – 10,0
SM-01	Areia grossa cinza amarela com pedregulhos	10,0 – 12,0
SM-01	Areia fina e média, mediantemente compacta a compacta, cinza clara e amarela com pouca mica.	12,0 – 13,5
SM-01	Silte argiloso duro com areia fina, com pedregulhos alterados, cinza e amarelo.	13,5 – 18,0
SM-01	Silte arenoso, muito compacto, com pedregulhos alterados, cinza e amarelo com mica.	18,0 – 20,0
SM-03	Areia fina e média, siltosa fofa e amarela.	1,0 – 2,8
SM-03	Areia fina a média, argilosa, fofa a pouco compacta, cinza e amarela com micas.	2,8 – 6,0
SM-03	Areia fina a média, siltosa, pouco compacta a mediantemente compacta, cinza e amarela, com mica.	10,0 – 12,0
SM-03	Silte argiloso duro com areia fina a média, cinza e amarela, com mica e pedregulhos alterados.	12,8 – 15,0
SM-04	Argila siltosa mole, cinza com mica	4 – 4,4
SM-04	Argila mole cinza escura	6,0 – 7,0
SM-04	Areia fina, média e grossa, siltosa, compacta, cinza e amarela, com micas e pedregulhos.	13,0 – 17,4
SM-35	Areia grossa muito mole, cinza escuro	3,6 – 5,0
SM-35	Argila siltosa muito mole, cinza escuro	5,0 – 7,8
SM-35	Areia média e grossa, siltosa, com pedregulhos, cinza	12,6 – 17,4
SP-4	Argila siltosa, com areia, muito mole a mole, amarela	0,0 – 3,6
SP-4	Areia fina e média, argilosa, fofa, cinza escuro	3,6 – 5,0
SP-4	Argila turfosa, muito mole, preta	5,0 – 7,7
SP-4	Argila muito arenosa, muito mole, cinza escuro.	7,7 – 9,0
SP-4	Areia grossa com muito pedregulhos, mediantemente compacta a pouco compacta, cinza escuro.	9,0 – 12,8

Durante os anos setenta e oitenta uma série de estudos foram conduzidos no Campus Experimental da PUC-Rio a fim de avaliar a alteração de rochas gnáissicas que ocorrem no local (*e.g.*, Brito, 1981 e Sertã, 1986). O programa experimental, conduzido por Brito (*op. cit.*) consistiu na escavação de trincheiras para coleta de amostras de solos e na execução de duas sondagens mistas para caracterização dos materiais terrosos e rochosos constantes no

perfil. A Figura 2.5 mostra o diagrama esquemático da investigação executada, enquanto que a Figura 2.6 apresenta uma foto do talude estudado.

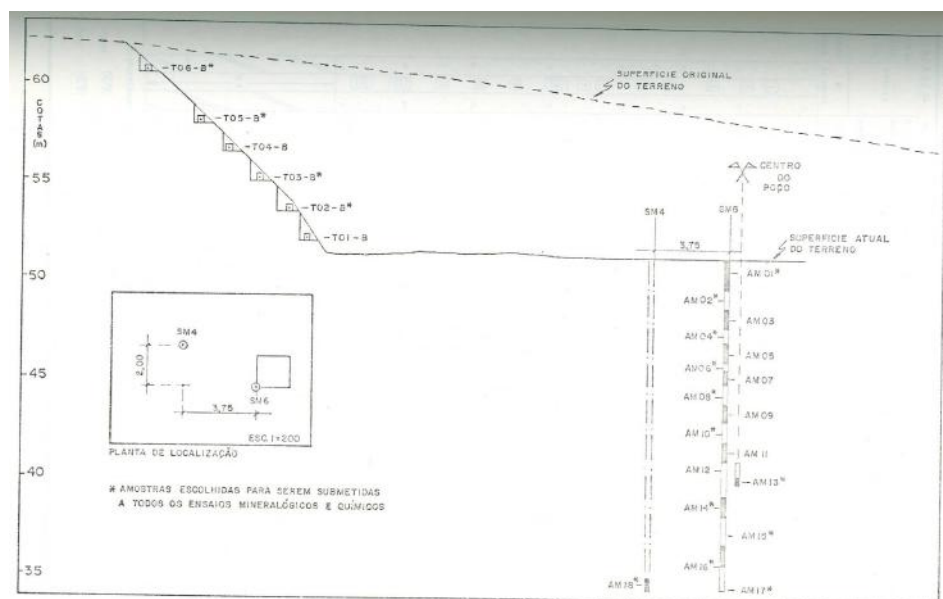


Figura 2.5 – Diagrama Esquemático da localização das trincheiras e sondagens executadas por Brito (1981)

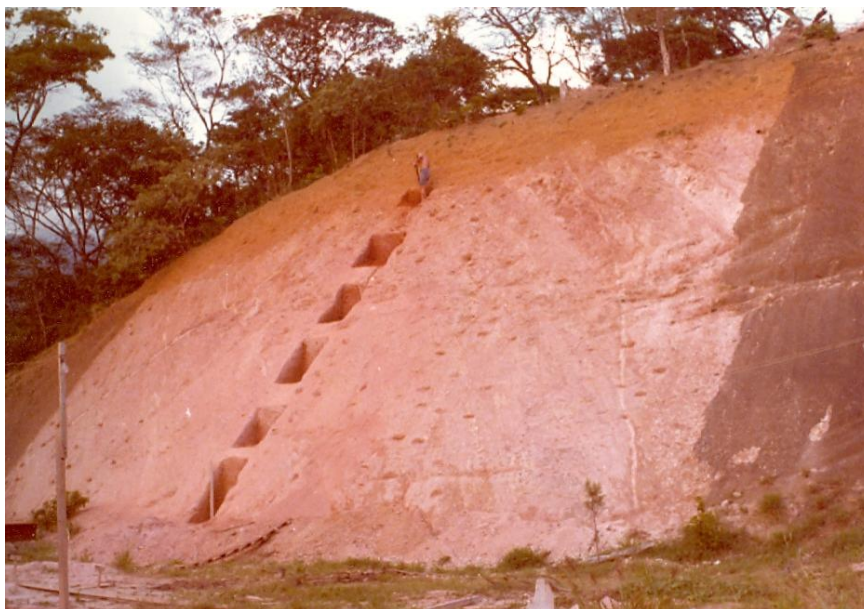


Figura 2.6 – Foto do talude estudado no Campus da PUC mostrando as trincheiras escavadas (Brito, 1981)

Os resultados das análises químicas conduzidas nas amostras de solos estão dispostos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Análises Químicas Totais de Amostras do perfil de Alteração em porcentagem-peso (Brito, 1981)

Amostra	Profundidade (m)		Umidade (%)	Perda ao fogo (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Total (%)
	Fictícia	Real												
T06-B	-9,60	1,40	2,93	8,94	56,51	20,91	8,99	0,01	1,04	-	0,20	0,24	0,10	99,87
T05-B	-6,90	3,60	2,81	9,99	49,27	26,73	9,99	0,02	0,80	-	0,20	0,21	0,21	100,23
T03-B	-3,85	6,30	3,85	8,37	53,17	21,58	11,08	0,02	1,36	0,14	0,25	0,10	0,14	100,06
T02-B	-2,30	7,65	2,28	7,70	53,41	22,66	11,59	0,05	1,14	0,21	0,50	0,28	0,67	100,39
SM6-AMO1	0,75	7,60	2,61	9,50	51,88	23,82	9,99	0,04	0,80	0,21	0,71	0,21	0,29	100,06
SM6-AMO2	2,00	8,85	3,19	7,64	57,50	21,42	8,39	0,02	0,62	0,21	0,66	0,09	0,72	100,46
SM6-AMO4	3,85	10,70	1,69	7,15	56,99	21,87	9,19	0,14	1,04	0,21	0,71	0,32	1,16	100,47
SM6-AMO6	5,40	12,25	1,68	7,43	53,08	21,48	11,99	0,13	1,14	0,28	0,55	0,13	1,88	99,77
SM6-AMO8	6,85	13,70	1,89	7,05	55,33	20,29	11,59	0,08	1,14	0,28	0,30	0,65	1,54	100,14
SM6-AM10	8,70	15,55	1,32	4,65	63,70	17,03	6,80	0,17	0,34	0,21	0,90	1,70	3,47	100,29
SM6-AM13	11,10	17,95	2,18	5,02	60,72	18,42	7,91	0,18	0,88	0,14	0,81	0,28	3,66	100,20
SM6-AM14	12,50	19,35	3,07	6,62	49,91	22,45	11,99	0,13	1,14	0,35	0,86	0,77	3,18	100,47
SM6-AM15	13,7	20,6	3,12	4,96	54,31	21,36	9,99	0,10	0,70	0,42	0,91	0,51	3,32	99,70
SM6-AM16	15,7	22,5	1,26	2,72	68,30	16,68	4,40	0,04	0,48	1,05	0,60	1,46	3,37	100,36
SM6-AM17	16,7	23,5	0,40	0,36	71,01	15,02	3,00	0,02	0,40	1,54	0,60	2,70	4,53	99,58
SM6-AM18	16,5	24,2	0,26	0,22	65,55	17,47	3,20	0,02	0,40	1,89	0,66	3,10	5,11	99,88

Os resultados das análises químicas revelaram que os materiais constantes no perfil são constituídos de silicatos e aluminatos e a sua coloração avermelhada é oriunda da grande quantidade de ferro presente. Percebe-se, principalmente nas amostras coletadas no furo SM-6 um aumento com a profundidade dos elementos alcalinos, principalmente o potássio que pode ser fruto da alteração do feldspato presente na rocha gnáissica.

Os boletins de sondagens dos furos SM-6 e SM-4 estão vistos nas Figuras 2.7 e 2.8 respectivamente. Apesar da pouca distância entre os furos de sondagem executados pode-se perceber uma grande variação no grau de fraturamento do gnaiss com a profundidade nestes

dois furos. Adicionalmente, constatou-se que a alteração do material processa-se em um curto espaço, inferior a 4m no material do furo SM-6 e inferior a 2m no material do furo SM-4.

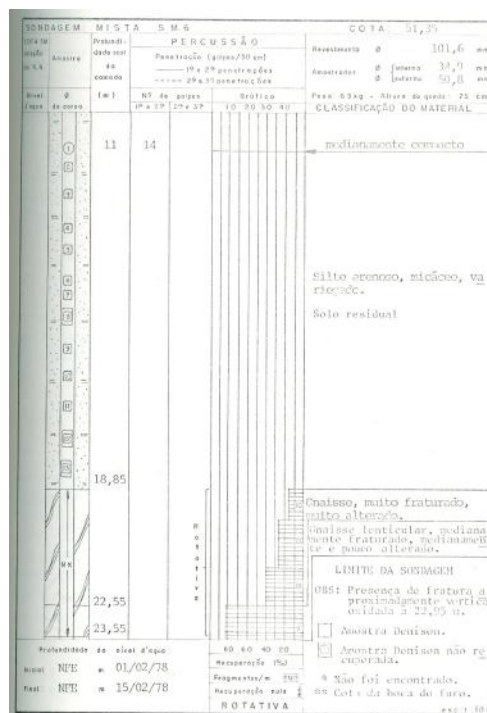


Figura 2.7 – Boletim de sondagem do furo SM-6 (Brito, 1981)

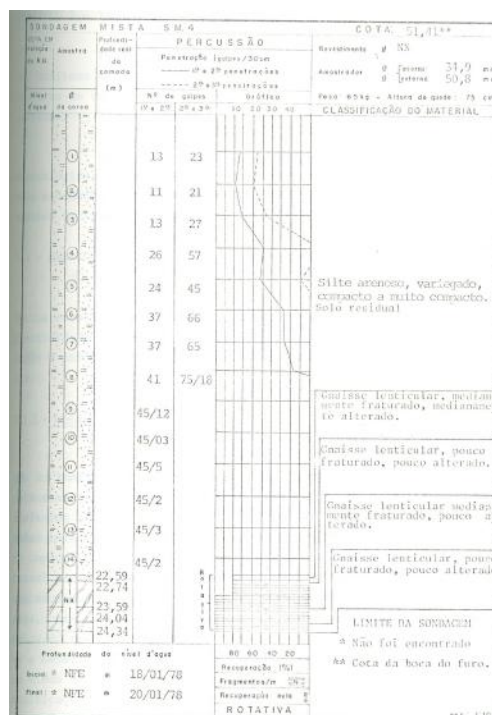


Figura 2.8 – Boletim de sondagem do furo SM-4 (Brito, *op. cit.*)

O estudo experimental realizado por Brito (1981) conduziu análises mineralógicas nos testemunhos das sondagens. A Tabela 2.3 apresenta a disposição das camadas e descreve os principais aspectos morfológicos.

Tabela 2.3 – Disposição das camadas e alguns aspectos morfológicos

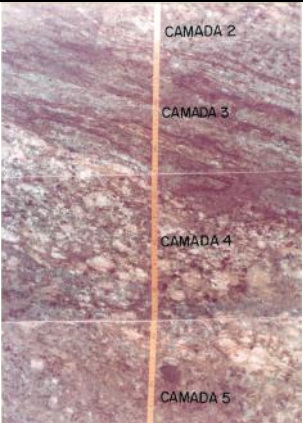
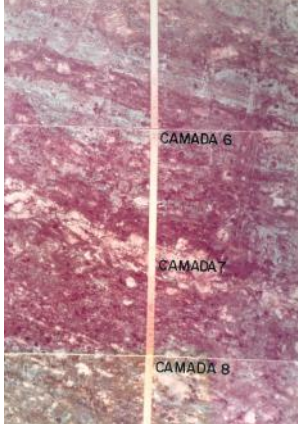
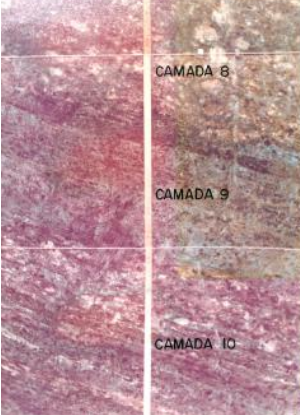
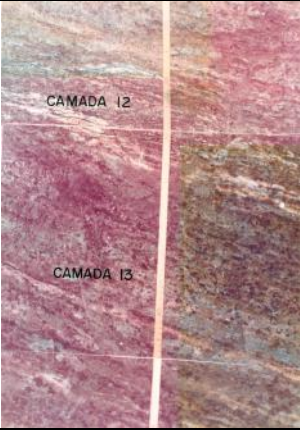
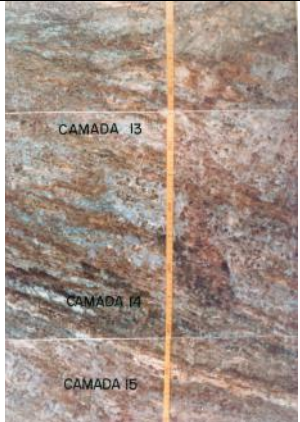
Camadas		Descrição
	CAMADA 2	<p>Presença de nódulos escuros (oriundos de alteração das granadas) e de pontos brancos (produtos de alteração dos feldspatos). Na camada 4 observa-se filmes de material preto.</p>
	CAMADA 3	
	CAMADA 4	
	CAMADA 5	
	CAMADA 6	<p>Na camada 6 há a presença de nódulos de óxido de manganês e de duas faixas de material cinza acompanhando o mergulho da camada.</p> <p>Na camada 8 nota-se nódulos de granada alterada, pontuações esbranquiçadas e mineral preto brilhante laminar.</p>
	CAMADA 7	
	CAMADA 8	
	CAMADA 8	<p>Observa-se no fim da camada 8 grande quantidade de material preto brilhante laminar.</p> <p>Na camada 9, nota-se a inexistência de xistosidade e a presença de nódulos de manganês .</p> <p>A camada 10 tem um xistosidade bem definida.</p>
	CAMADA 9	
	CAMADA 10	

Tabela 2.3 (cont.) – Disposição das camadas e alguns aspectos morfológicos

Camadas		Descrição
		Observa-se na camada 13 a presença de nódulos de granada alterada, pontuações de alteração de feldspato e o preenchimento nas fissuras por óxidos de manganês.
		Na camada 13 as fissuras são preenchidas por óxido de manganês Observa-se na camada 14, lentes de feldspato alterado e faixas de material preto.

## **CAPÍTULO 3: MATERIAIS & MÉTODOS**

### **3.1 DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO DO GPR**

#### **3.1.1. Introdução**

*Ground Penetrating Radar* (radar de penetração em solo, ou georradar, ou simplesmente GPR) é um método geofísico que emprega ondas eletromagnéticas de alta frequência, entre 10 e 2500 MHz, para mapear com alta resolução estruturas e feições geológicas rasas da subsuperfície ou localizar objetos enterrados pelo homem. Este método é semelhante ao método de reflexão sísmica, no princípio físico e na metodologia do levantamento de campo, com a exceção de que é baseado na reflexão de ondas eletromagnéticas.

O princípio do método GPR consiste na emissão contínua de ondas eletromagnéticas (EM) no terreno por uma antena transmissora. A propagação do sinal e o alcance das ondas EM depende da frequência do sinal emitido e das propriedades elétricas dos materiais (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética). A mudança nas propriedades elétricas em subsuperfície fazem com que parte do sinal seja refletido, essas ondas, então refletidas e difratadas em subsuperfície, são recebidas através de outra antena, denominada antena receptora. A energia refletida é registrada em função do tempo de percurso (tempo duplo), que é amplificada, digitalizada e gravada no disco rígido de um computador, deixando os dados prontos para o processamento posterior caso seja necessário. A Figura 3.1 apresenta um diagrama esquemático de arranjo das antenas.



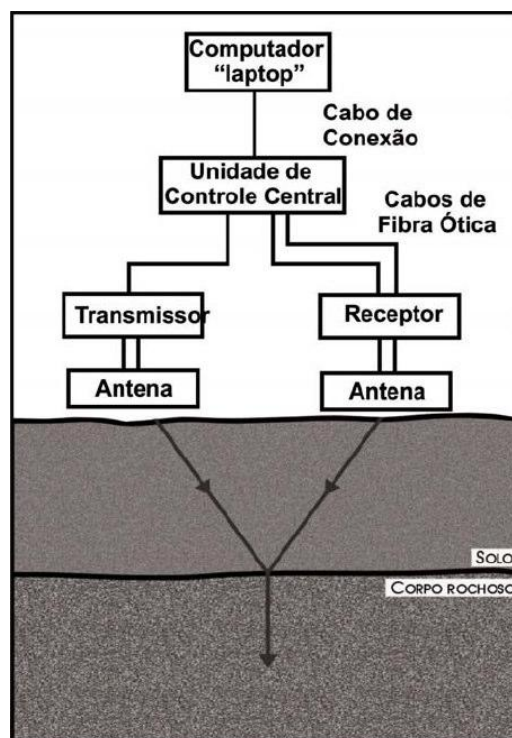


Figura 3.1 - Modelo esquemático da disposição dos equipamentos que compõem o sistema de GPR utilizado nesta pesquisa(Moura *et al*, 2006)

### 3.1.2 Histórico

A utilização do radar de penetração (gpr) teve seu início no Brasil na década de 90 (Porsani, 1999). O gpr causou bastante expectativa na comunidade técnica, pois se vislumbrava uma ferramenta com um alto poder de resolução, aliada à rapidez e facilidade na aquisição de dados.

A sua utilização vem sendo ultimamente alvo de críticas por parte da comunidade técnica, que, por muitas vezes, coloca a sua utilidade em cheque. Segundo Iyomasa (2006), a aplicação do gpr de forma indiscriminada e sem critérios técnicos, origina problemas tanto na aquisição quanto na interpretação de seus resultados.

No aspecto prático, o GPR é uma técnica muito versátil e, desde a década de 90 até os dias atuais, ele tem sido utilizado na geologia, na geotecnia, na hidrogeologia, no meio ambiente, nas ciências do solo, na arqueologia e em vários outros campos. Dentre suas aplicações, podem ser destacadas: localização de objetos enterrados; localização de sítios arqueológicos; localização de “plumas” de contaminação; localização de fraturas em rocha e determinação da profundidade do topo rochoso; determinação da profundidade do nível freático; entre outras.

### 3.1.3 Fundamentos Teóricos

O conhecimento da fundamentação teórica e das limitações do método GPR é necessário para se fazer um bom uso do método durante a aquisição dos dados. Os fundamentos do método GPR estão embasados na teoria de propagação de ondas eletromagnéticas, ou seja, as equações de Maxwell, que descrevem o comportamento do campo eletromagnético em qualquer meio. Entretanto, estas equações não contêm nenhuma informação sobre as propriedades elétricas dos materiais por onde os campos elétricos e magnéticos atuam. Dessa forma, é necessário introduzir as relações constitutivas do meio, que relacionam o campo elétrico externo aplicado ao campo interno pelas propriedades elétrica e magnética dos materiais. Os materiais geológicos (rochas sedimentares, ígneas, metamórficas e os solos) podem ser considerados semi-condutores ou dielétricos, podendo ser caracterizados por três propriedades: condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética.

A Tabela 3.1 mostra a constante dielétrica e a condutividade elétrica observada em alguns materiais para as frequências utilizadas no GPR. Pode-se perceber através destes valores, que o teor de umidade volumétrico de água pode alterar substancialmente as

características elétricas das rochas e dos solos. Isto ocorre porque os íons dissolvidos na água proporcionam um mecanismo de condução elétrica, que dissipa o campo eletromagnético aplicado, pois a energia do campo EM é extraída e transferida irreversivelmente para o meio, provocando assim, a atenuação e baixa penetração da onda EM no meio.

Tabela 3.1 - Constante dielétrica ( $k$ ) e condutividade elétrica ( $\sigma$ ), observadas nos materiais, comuns para as frequências utilizadas no GPR (Porsani, 1999)

<b>Materiais</b>	<b>Constante Dielétrica (K)</b>	<b>Condutividade Elétrica (<math>\sigma</math>) MS/m</b>
Ar	1	0
Água Destilada	81	0,01
Água Fresca	81	0,5
Água do mar	81	3000
Areia seca e cascalho	2-6	0,01
Areia saturada	20-30	0,1-1
Argila seca	5	2
Argila saturada	40	1000
Calcáreo seco	4	0,5
Calcáreo saturado	8	2
Folhelho e siltito seco	5	1
Folhelho saturado	7	100
Siltito saturado	30	100
Silte saturado	10	1-10
Arenito Saturado	20-30	40
Solo arenoso seco	2,6	0,14
Solo arenoso saturado	25	6,9
Solo argiloso seco	2,4	0,27
Solo argiloso saturado	15	50
Basalto seco	6	1
Basalto saturado	8	10
Diabásio seco	7	10
Diabásio saturado	8	100
Granito seco	5	0,01
Granito saturado	7	1
Sal seco	5-6	0,01-1
Ferro	1	$10^9$
Aço	1	$\infty$
PVC	8	0
Asfalto	3-5	0
Concreto seco	5,5	0
Concreto saturado	12,5	0
LNAPL	2	0
DNAPL	2-3	0
Hexano	1,88	0,5
Diclorometano	8,3	1,1
Benzeno	2,24	0,11
Metanol	33,7	0,38
Mistura de óleo e outras substâncias orgânicas	2	0,5

### 3.1.4 Profundidade de penetração e resolução

O sistema de GPR é especificado pela sua frequência central, mas as antenas, transmissora e receptora, são projetadas para atuar numa faixa que varia de 0,5 vezes a frequência central (frequência mínima) até 1,5 vezes a frequência central (frequência máxima).

A frequência central tem um papel importante para a profundidade de penetração da onda eletromagnética e a resolução a ser obtida. Em geral, aumentando-se a frequência da onda transmitida (menor comprimento de onda) resulta em maior resolução da subsuperfície, maior atenuação e menor profundidade de penetração. Por outro lado, diminuindo-se a frequência, aumenta-se a profundidade de penetração, em compensação uma menor resolução. Isto porque a atenuação da onda eletromagnética aumenta com a frequência.

O método GPR é mundialmente reconhecido como o método de maior resolução na geofísica, mas a sua principal limitação é a profundidade de penetração da onda em subsuperfície. A penetração é altamente dependente das propriedades elétricas dos materiais, que por sua vez influenciam a atenuação da onda eletromagnética (Olhoeft, 1984). A profundidade de penetração pode variar de 4km no gelo, 1 a 1,5km na Lua, centenas de metros em rochas de sal, dezenas de metros no granito, areias e cascalhos, até poucos metros em solos com alto conteúdo de argila (Daniels *et al.*, 1988).

A Tabela 3.2 mostra os valores das frequências centrais das antenas com suas respectivas profundidades máximas de penetração.

Tabela 3.2 - Frequência central das antenas versus profundidade máxima de penetração  
(Porsani,1999)

Frequência Central (MHz)	Profundidade Máxima de Penetração (m)
1000	1
400	2
200	4
100	25
50	30
25	40
10	50

A resolução vertical corresponde a habilidade de distinguir as reflexões provenientes do topo e da base de camadas de pequena espessura. A Tabela 3.3 apresenta alguns valores estimados de resolução vertical, obtidos em Annan (1992), para as frequências centrais do GPR.

Tabela 3.3- Frequência Central das antenas versus resolução vertical (adaptado de Annan,1992)

Frequência Central (MHz)	Resolução Vertical (m)
200	0,25
100	0,50
50	1,00
25	2,00

## 3.2 – DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

### 3.2.1- GPR (*Ground Penetrating Radar*)

As sondagens geofísicas foram realizadas através de um georradar (gpr) da marca MALA modelo RAMAC utilizando uma antena não blindada de 50MHz. A Figura 3.2. apresenta uma foto do GPR, onde se tem as partes constituintes do equipamento utilizado.



Figura 3.2-Equipamento utilizado nas investigações

A aquisição de dados deste equipamento foi realizada utilizando-se o programa *Groundvision*®, versão 1.4.1, da RAMAC. Os parâmetros de aquisição, tais quais, número de amostras por *scan*, número de *stacks*, janela temporal e intervalo entre *scans*, são diretamente introduzidos no programa de acordo com as características de cada aquisição. Além disto, este programa permite a calibração do odômetro antes de se iniciar a aquisição de dados.

### 3.2.2- Antenas GPR

As antenas utilizadas podem ser blindadas ou não. As do tipo não blindadas, que foram usadas no referido trabalho possuem a vantagem de se poder trabalhar com diversas orientações entre as antenas transmissora e receptora, além de se poder variar a distância entre elas, permitindo assim o emprego de diversas técnicas de aquisição, tais quais, CMP (*Common Mid Point*) e WARR (*Wide Angle Reflection and Refraction*). Entretanto, possuem

a desvantagem de sofrerem interferências provocadas por ruídos eletromagnéticos externos (*e.g.*, ondas de telefone celulares, redes de alta tensão). A Figura 3.3 mostra a antena GPR utilizada neste trabalho.



Figura 3.3- Antena GPR de 50 MHz

### 3.2.3- Unidade de Controle - GPR

A Unidade de controle é ligada a antena por meio de cabos de fibra óptica e é responsável por controlar todos os parâmetros de aquisição e armazenamento dos dados. Ela é acondicionada em uma mochila, vista na Figura 3.4, visando a facilitar a aquisição de sinais por um único operador.



Figura 3.4 – Unidade de controle acoplada na mochila da marca MALA

#### 3.2.4- Monitor RAMAC

Os sinais das ondas eletromagnéticas adquiridos pela unidade de controle são vistos na forma de um radargrama. Recentemente, a Mala Geoscience desenvolveu um console visto na Figura 3.5, o RAMAC monitor xv II, que permite a visualização do radargrama como também proporciona ao usuário a entrada dos parâmetros de aquisição como:

- tipo de antena;
- calibração do sinal;
- calibração do odômetro;
- número de empilhamento;
- tamanho da janela temporal;
- ajuste de ganho
- ajuste de brilho e contraste do visor;





Figura 3.5- Monitor RAMAC

### 3.2.5- Sistema GPS geodésico

As sondagens gpr foram georrefenciadas através do emprego de um sistema GPS geodésico, da marca *ASHTEC* modelo *PROMARK II*, visto na Figura 3.6.

Foram realizados levantamentos de precisão, denominados levantamentos estáticos, utilizando-se um sistema de 02 (dois) receptores com coleta simultânea por meio de 02 (duas) antenas externas.

Este sistema apresenta uma exatidão máxima de 0,5cm na escala horizontal e 1cm na escala vertical. No entanto, nem sempre é possível alcançar tais magnitudes em decorrência de interferências externas (*i.e.*, presença de árvores, muros, telhados).



Figura 3.6- GPS geodésico

### 3.3- Aquisição de dados

O procedimento de medidas de GPR pode ser feito através de três modos básicos: perfil de reflexão com afastamento constante ou “*Common Offset*”, sondagens de velocidade e a técnica de trans-iluminação ou tomografia. O perfil de reflexão (*common offset*), é o modo mais comum de operação, e foi utilizado neste trabalho. Nesta técnica, a geometria das antenas transmissora e receptora é mantida com uma distância fixa constante, sendo transportadas ao longo do perfil para imagear as reflexões versus a posição das antenas. O resultado obtido é um perfil, onde no eixo horizontal está a distância percorrida pelo deslocamento das antenas, mostrando as variações nas propriedades elétricas de subsuperfície (reflexões) em função do tempo duplo de percurso do sinal refletido (tempo de ida e volta do sinal), medido em nanosegundos, no eixo vertical.

### 3.4- Processamento dos sinais

Os dados adquiridos foram processados utilizando-se o programa RADAN for Windows, versões 98 e 2000, da marca GSSI. Em todos os radargramas adquiridos, os mesmos recursos de processamento foram adotados.

Primeiramente, nos dados que apresentavam um atraso da onda direta, fez-se a correção desta para a posição zero, e em seguida, os dados foram filtrados com um filtro vertical, “IIR filter”, corta baixa de 500MHz e corta alta de 125MHz, para delimitar a faixa de frequência atingível pela antena utilizada; e aplicada uma função de ganho tipo automático (AGC/SEC) em 10 pontos. Ainda, para uma visualização melhor de alguns radargramas, utilizou-se o recurso de ajustar a escala horizontal, “skipping”, o qual permite especificar o número de scans (traços) a mostrar. E para conversão da escala vertical em tempo (ns), para profundidade (m), adotou-se o valor 13 para a constante dielétrica do solo e 12 para a rocha gnáissica.

### 3.5- Levantamentos das sondagens

A coleta das informações de sondagens realizadas no estacionamento do Campus da PUC e adjacências foi um passo primordial no levantamento de informações sobre o meio físico.

Foram feitas consultas a Prefeitura do Campus da PUC bem como a Vice-Reitoria de Desenvolvimento que está encarregada da implantação do Prédio do Núcleo de Competência em Petróleo.

Adicionalmente, foi feito um contato com a Empresa responsável pelo empreendimento residencial multi-familiar sito à Rua Marquês de São Vicente, 187.

A Prefeitura do Campus da PUC-Rio não possui um banco de dados com as informações de sondagens realizadas em sua propriedade. No entanto, ela forneceu dados das empresas que realizaram sondagens no Campus nos últimos 5 anos.

De posse desta informação, foi realizada uma consulta as empresas de sondagens que gentilmente forneceram os dados dos respectivos boletins. A Vice-Reitoria Comunitária forneceu uma cópia dos boletins de sondagem que foram realizadas para a construção no novo prédio da PUC-Rio.

Os 31 (trinta e um) boletins de sondagem foram digitalizados através do emprego do programa computacional *LogPlot*<sup>®</sup>. Para este trabalho foi elaborado um *template* próprio para a apresentação dos resultados.

### 3.6- Modelagem Geológica

Com base nas informações contidas nos boletins de sondagem foi confeccionado um modelo geológico preliminar empregando o programa computacional *Rockworks*<sup>®</sup>. Este programa emprega ferramentas geoestatísticas para gerar um sólido que represente o meio geológico em questão.

Para a elaboração do modelo foi necessário a determinação das coordenadas geográficas de cada furo de sondagem, bem como a altitude da boca do furo, posto que os boletins de sondagens existentes não forneciam estas informações. As informações foram coletadas por intermédio do sistema GPS geodésico com base na localização das sondagens contidas em seus respectivos boletins.

## CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os 31 (trinta e um) boletins de sondagem foram digitalizados através do emprego do programa computacional *LogPlot*®. A locação das sondagens realizadas pode ser visualizada na Figura 4.1, enquanto que os boletins estão disponíveis no Apêndice A deste trabalho.

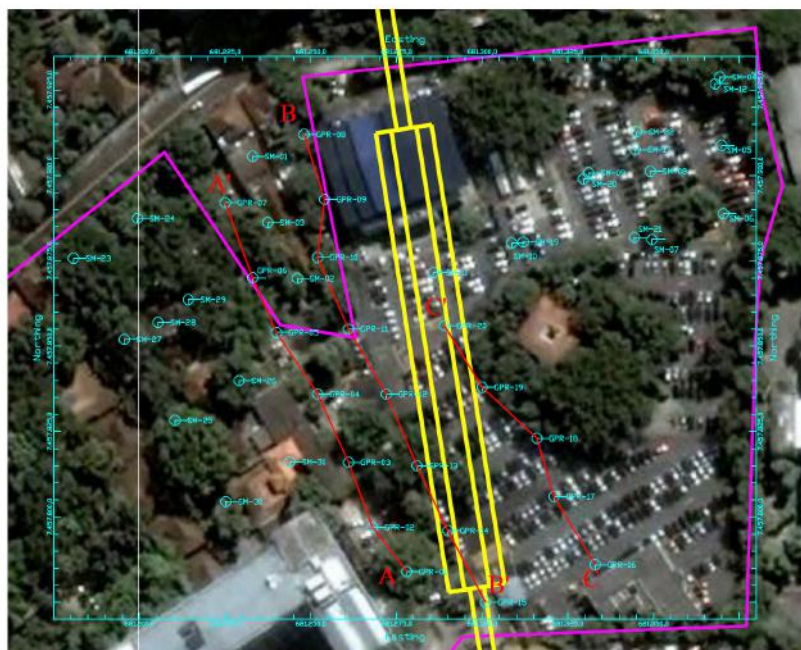


Figura 4.1 – Planta de situação das sondagens e do levantamento geofísico

Com base nas informações contidas nos boletins de sondagem foi confeccionado um modelo geológico preliminar empregando o programa computacional *Rockworks*®. O modelo geológico preliminar, expresso em diagramas de cerca, pode ser visto no Apêndice B deste trabalho.

O modelo geológico preliminar apresentou uma série de inconsistências que precisaram ser investigadas. A principal inconsistência residiu na existência de uma camada de rocha gnáissica a cerca de 12m de profundidade na área do estacionamento dos professores horistas

e que se estendia até o local onde será construída a nova Biblioteca da PUC-Rio (vide Seção A-A' do modelo geológico na Figura 4.2).

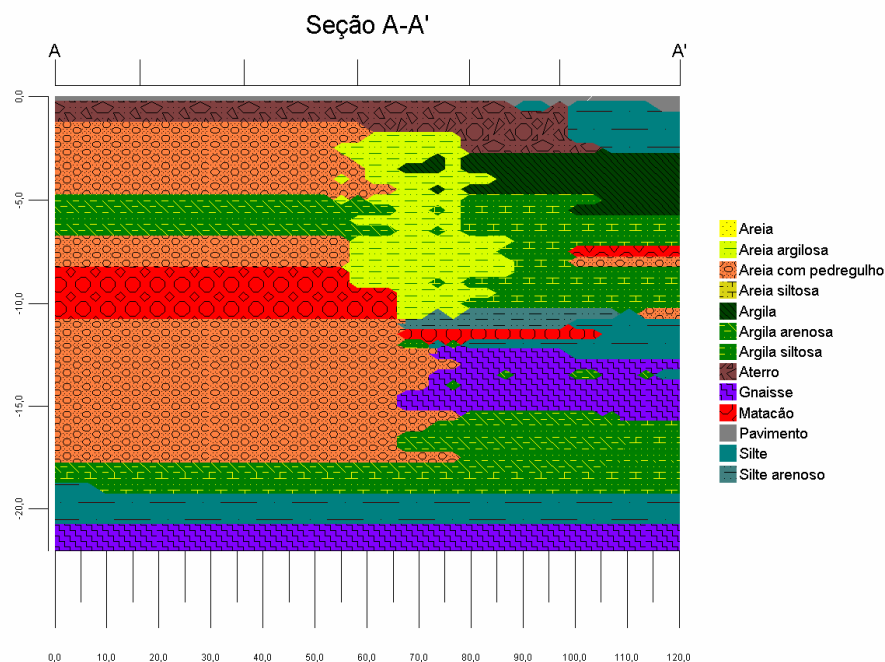


Figura 4.2 – Seção A-A' do modelo geológico preliminar

A Figura 4.3 mostra que esta inconsistência persiste na seção B-B'. Esta inconsistência é fruto das informações contidas nos boletins de sondagem realizados para a construção do novo prédio da Biblioteca e dos boletins de sondagens realizados para a construção do empreendimento residencial situado na Rua Marquês de São Vicente, 187. As informações são frutos de campanhas distintas, realizadas por empresas diferentes.

No entanto, as inconsistências geológicas apresentadas na Figura 4.3 não aparecem na Figura 4.4 que mostra a seção C-C' do referido modelo.

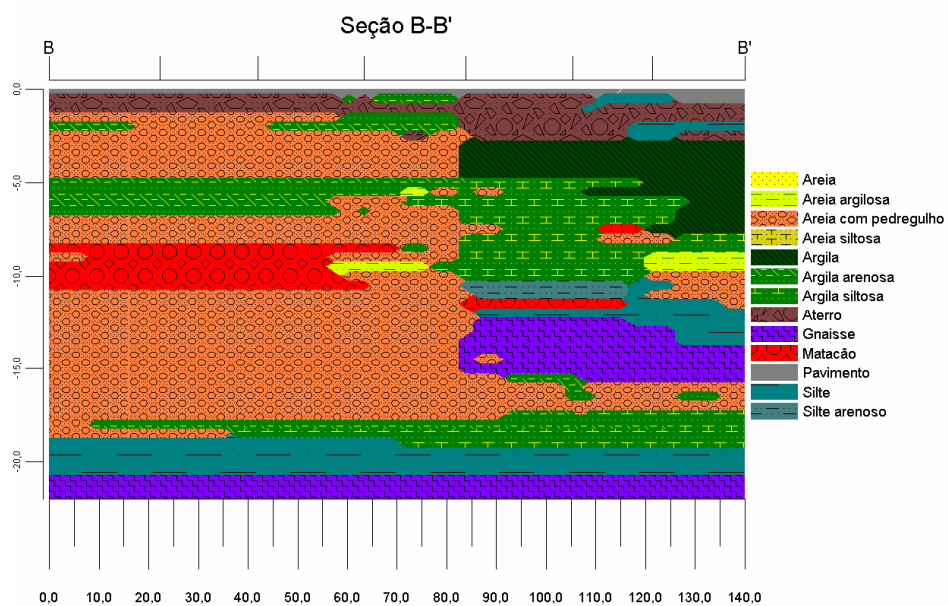


Figura 4.3 – Seção B-B' do modelo geológico preliminar

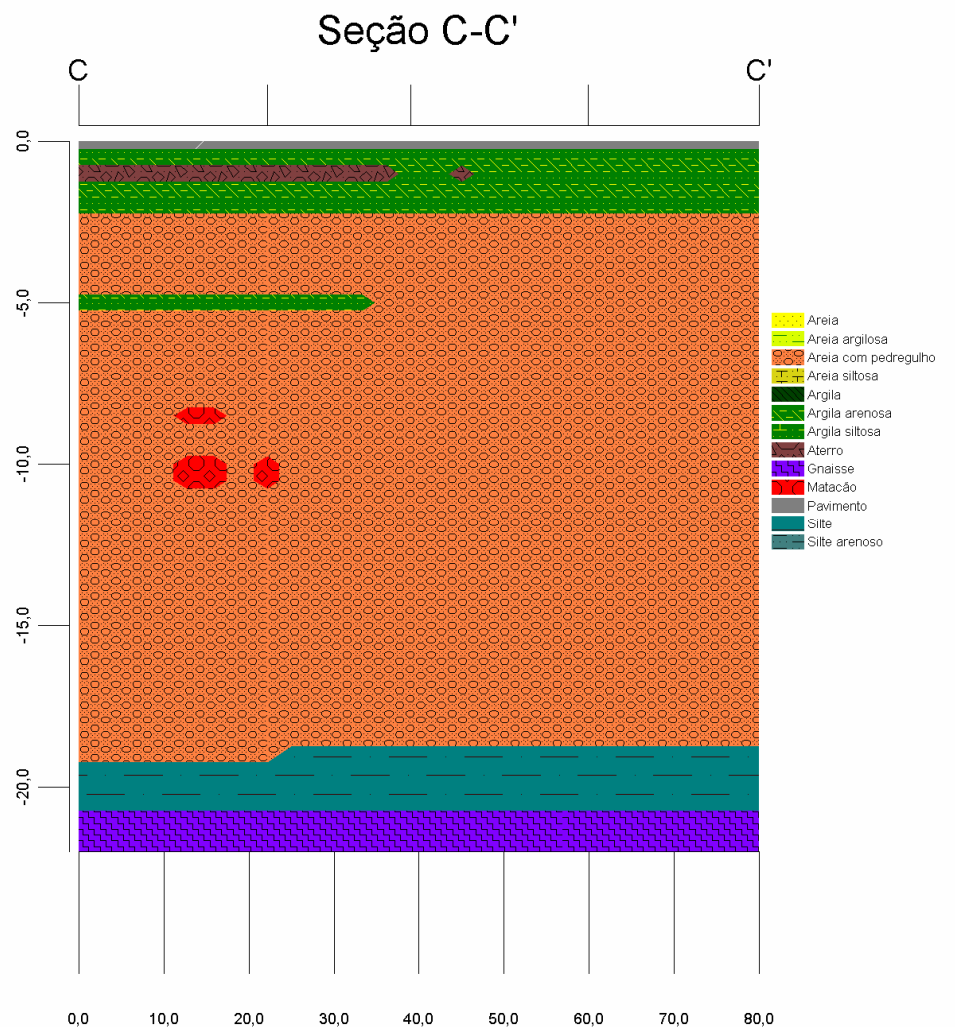


Figura 4.4 – Seção C-C' do modelo geológico preliminar

A princípio pensou-se que o programa computacional não foi capaz de interpolar os dados destas sondagens com as demais próximas para representar uma protuberância no maciço gnáissico, fato de comum ocorrência na Cidade do Rio de Janeiro.

De posse do modelo geológico preliminar foi realizado uma campanha de investigação geofísica, empregando o radar de penetração (gpr), para atestar as informações contidas no modelo geológico. O objetivo da investigação gpr foi averiguar as inconsistências apresentadas nas Figuras 4.2 e 4.3, bem como verificar a existência e a extensão da camada de



matação presente a cerca de 8,0m de profundidade em todas as seções analisadas (vide Figuras 4.2, 4.3 e 4.4). Estes seriam os maiores condicionantes geológicos para as atividades de escavação da futura estação do Metrô.

Conforme explicitado no capítulo anterior, as sondagens geofísicas foram realizadas através de um georradar (gpr) da marca MALA modelo RAMAC utilizando uma antena não blindada de 50Mhz. A aquisição dos sinais foi feita através do programa Groundvision®, enquanto que o processamento dos sinais foi realizado através da utilização do programa computacional RADAN®. As sondagens gpr foram georrefenciadas através do emprego de um gps geodésico da marca ASHTECH, modelo PROMARK II.

As investigações gpr não puderam ser realizadas em toda a extensão da área da futura estação do Metrô. Houveram alguns impeditivos, como pode ser visto na Figura 4.5, para que as seções percorressem toda a extensão da área de interesse, incluindo: a existência de árvores, o prédio do ginásio poliesportivo e o canteiro de obras do Prédio do Núcleo de Competência Regional de Petróleo. Este último não está visível na imagem mostrada na Figura 4.5, posto que a imagem de satélite foi obtida antes do início da construção do referido prédio.



Figura 4.5 – Imagem do Estacionamento do Campus

Desta forma, foram realizados 17 levantamentos formando três seções: A-A', B-B' e C-C' (vide Figura 4.1). A seção C-C' ficou com a sua dimensão reduzida devido a existência do canteiro de obras.

Os resultados das investigações gpr estão expressos nos radargramas que podem ser vistos no Apêndice C deste trabalho.

As investigações gpr permitiram suprimir a inconsistência geológica mencionada anteriormente, conforme pode ser visto nas seções apresentadas nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8. Crê-se que esta inconsistência seja fruto das informações contidas nos boletins de sondagem que mencionavam a existência de rocha sã a profundidades mais próximas a superfície.

Acredita-se que o material descrito como rocha sã, nestes boletins, seja, na realidade, blocos de rocha alterada. As informações coletadas junto a empresa de fundação que está realizando estacas-raiz no empreendimento residencial corrobora com esta hipótese dado o maior volume de concreto injetado que o previsto.

O modelo geológico fruto do cruzamento das informações dos boletins de sondagem com as informações fornecidas pelo levantamento geofísico está apresentado no Apêndice C.1 deste trabalho.

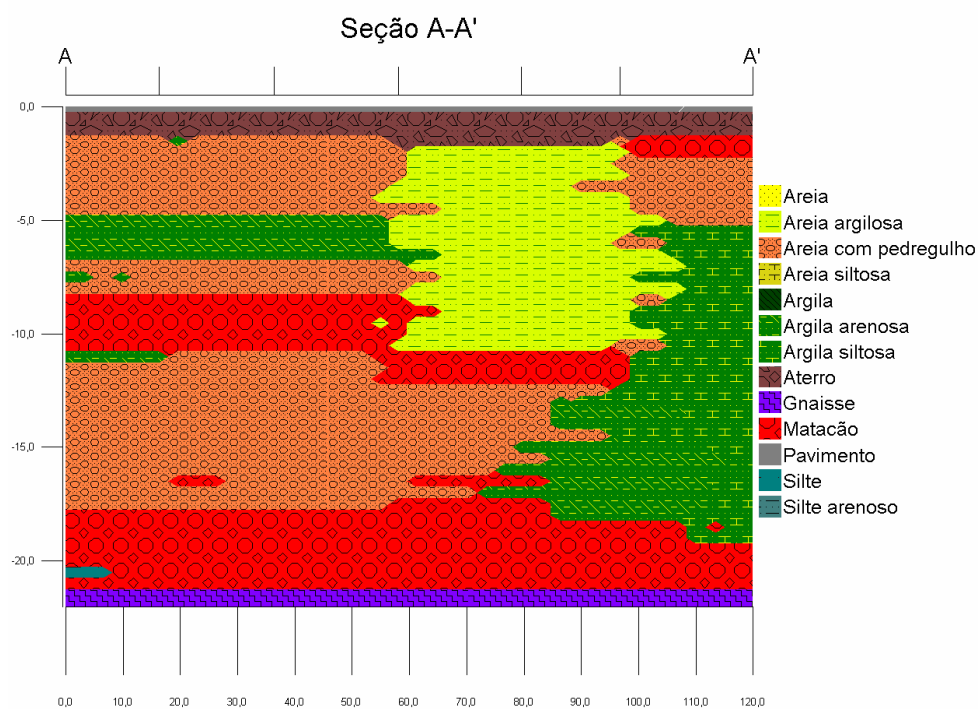


Figura 4.6 – Seção A-A' após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr

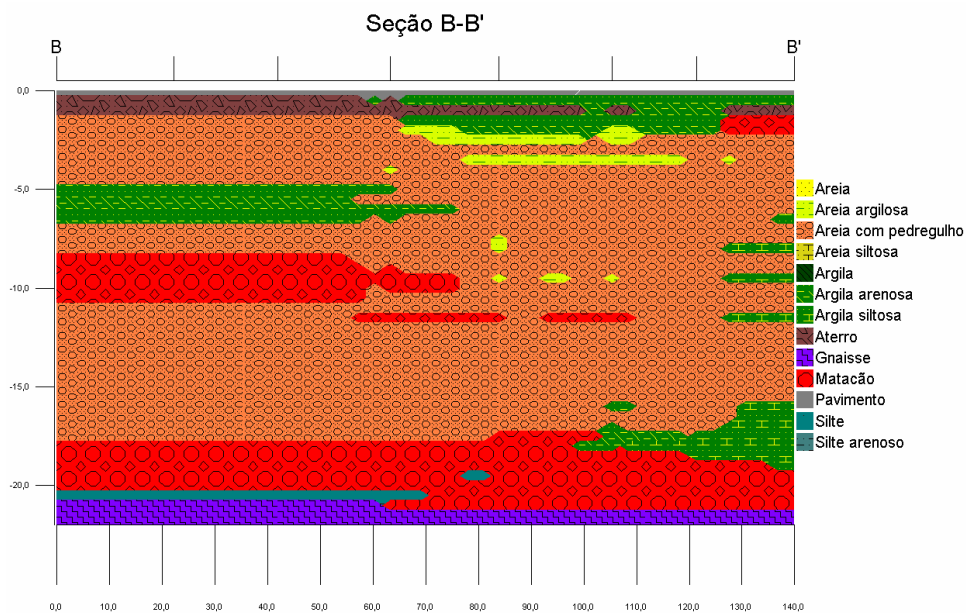


Figura 4.7 – Seção B-B' após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr

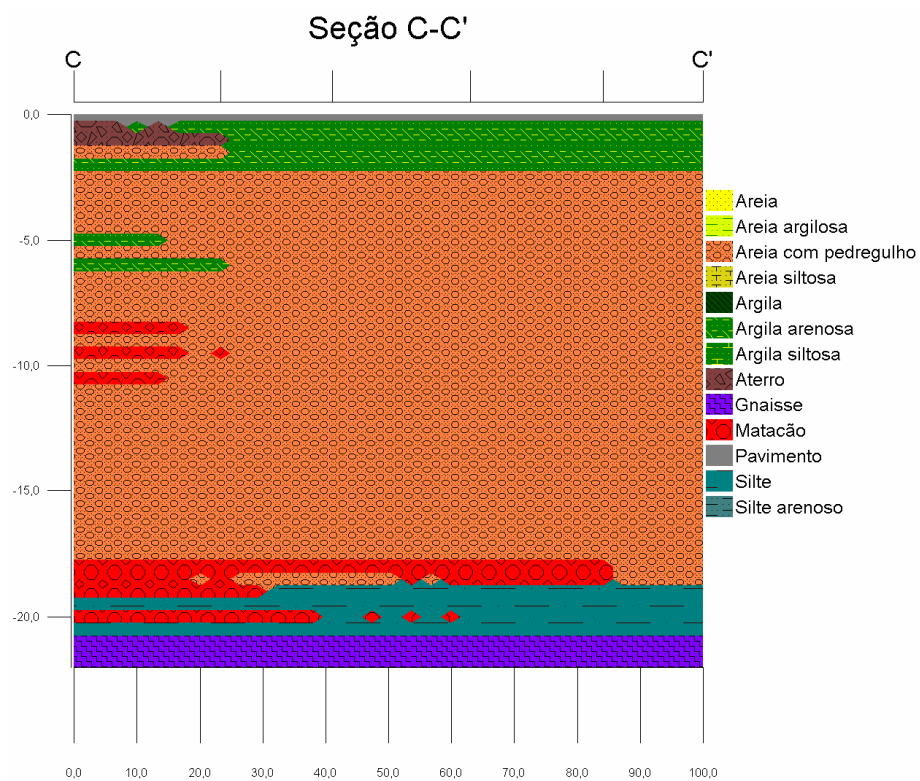


Figura 4.8 – Seção C-C' após incorporação das informações obtidas pela investigação gpr

## CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta a modelagem geológica do pátio de estacionamento da PUC-Rio onde será construída a Estação Gávea da Linha 4 do Metrô. A modelagem foi realizada através de informações obtidas de furos de sondagem executados nos últimos 10 anos na área supracitada. Estas informações serviram como base para a construção de um modelo geológico preliminar utilizando o programa computacional Rockworks®.

Este modelo apresentou uma série de inconsistências geológicas que puderam ser dirimidas através do emprego do radar de penetração. A partir das informações dos radargramas foi possível eliminar as inconsistências e incorporá-las ao modelo geológico preliminar gerando um novo modelo geológico.

O modelo geológico gerado permitiu identificar as seguintes características:

- o meio geológico consiste de camadas intercaladas de solos de textura grossa e fina típica de deposição fluvial subjacente a uma camada de aterro;
- a existência de uma camada de matacão a uma profundidade de cerca de 8m com cerca de 3m de espessura;
- a existência de uma camada de solo residual de gnaiss subjacente aos solos transportados;
- a existência de um depósito de areia com presença das frações silte e argila que provavelmente corresponde a antiga calha do Rio Rainha que foi retificada após a remoção da favela Parque Proletário da Gávea e posterior construção do estacionamento. Esta camada pode ser visualizada na Figura 4.6 entre 2 a 10m de profundidade;

- a rocha sã, gnaiss, está a uma profundidade de cerca de 22m. Sobrejacente a esta camada encontra-se um embasamento altamente fraturado, em diversos estados de alteração, que pode ser confundido como topo rochoso.

O modelo geológico leva a acreditar que os principais condicionantes para a escavação da área sejam a camada de matação e a rocha alterada.

Acredita-se que o uso de ferramentas geofísicas seja de grande valia para a confecção de modelos geológicos, posto que este tipo de investigação não invasiva é de rápida execução e de baixo custo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F.; Brito Neves, B.B.; Alves, J.A.C., 1993, Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – uma revisão. *In: J.M. Dominguez & A. Misi (eds.) O Cráton do São Francisco*. Salvador, p. 45-62.
- Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G.; *et al.*, 1973, The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon river. *In: E. M. Nairn e F. G. Stehli (eds.) The Ocean Basins and Margins*, New York, p. 411-446.
- Almeida, F.F.M., 1977, O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geociências*, vol. 7,p. 349-364.
- Almeida, F. F. M. de, 1981, O cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. *In: SIMPÓSIO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS*, vol.1, Salvador, p. 1-10.
- Annan, A. P., Cosway, S. W., 1992, Ground penetrating radar survey design. *In: SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF GEOPHYSICS TO ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS*, Vol. 2, p. 329-352.
- Brito, A.T.A. 1981. *Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaiss Migmatítico do Campo Experimental da PUC-RJ, Gávea, Rio de Janeiro*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro , Dissertação de Mestrado, 286 p.
- Campos Neto, M.C., 2000, Orogenic Systems from Southwestern Gondwana. *In: U.G. Cordani, A. Thomaz Filho e D.A. Campos Neto (eds.) Tectonic Evolution of South America*. p. 355-365.
- Daniels, D. J., Gunton, D. J., Scott, H. F., 1988, Introduction to subsurface radar. *IEE Proceedings*, Vol. 135 – F, no 4, p. 277-388.

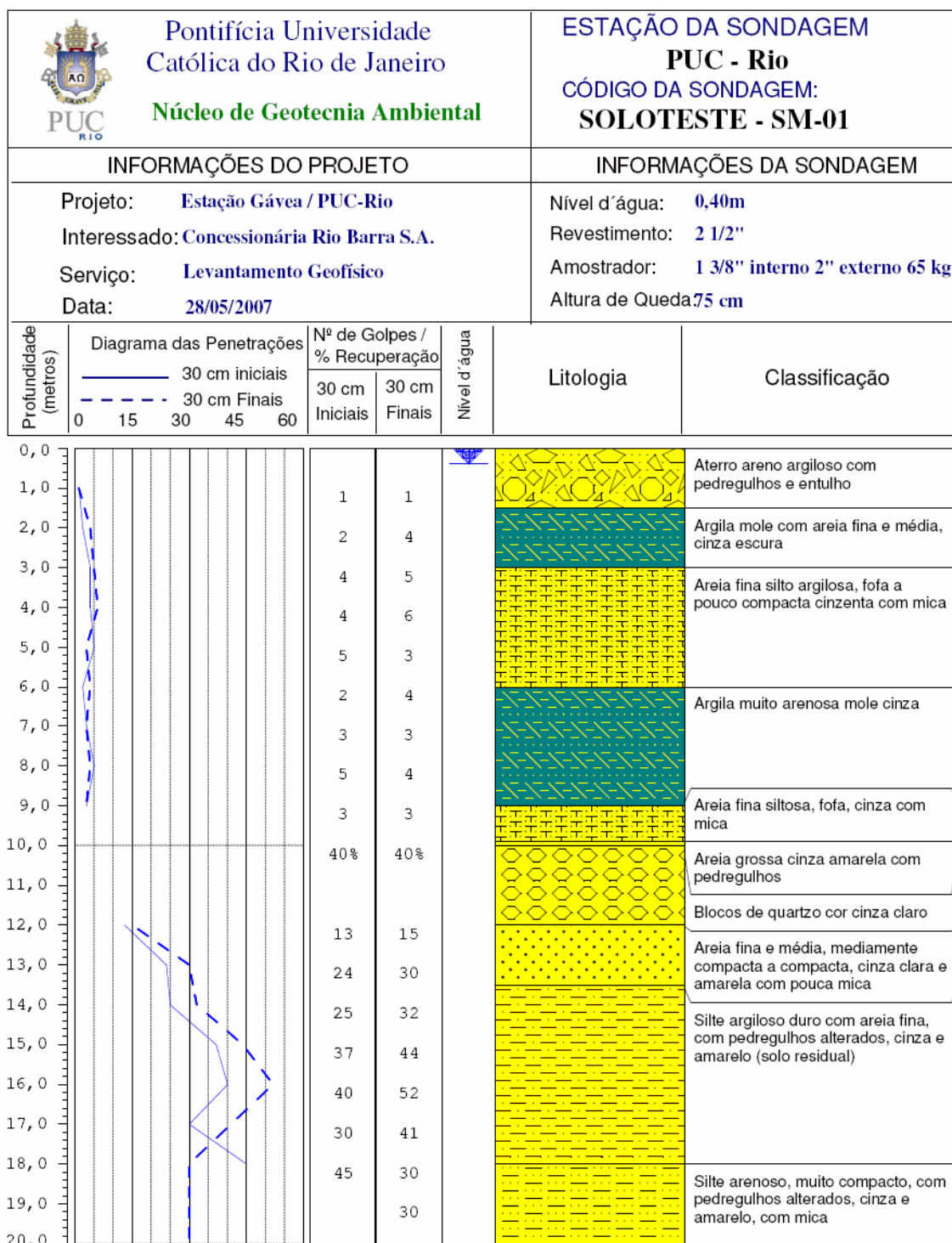
- Dehler, N. M. & Machado, R., 2002, Geometria e Cinemática da Aba Sul da Estrutura Divergente do Rio Paraíba do Sul Ao Longo Da Seção Areal-Três Rios, Rio de Janeiro, *Rev. Bras. de Geociências*, vol. 32, no.4, p. 481-490.
- Figueiredo, M.C.H. & Campos Neto, M.C., 1993, Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc southeastern Brazil. *Acad. Bras. Ciências*, vol. 65 (Supl. 1), p. 63-81.
- Fuck, R.A.; Jardim de Sá, E. F.; Pimentel, M. M., *et al.*, 1993, As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos. *In: J. M. Dominguez & A. Misi (eds): O Cráton do São Francisco*, p. 161-185.
- Heilbron, M.; Valeriano, C.M.; Tupinambá, M., *et al.*, 1999, An evolutionary tectonic model for the central segment of Ribeira Belt: from the Transamazonian collage to Gondwana amalgamation. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, SBG, Lençóis. vol.7, p. 58-61.
- Heilbron, M.; Pedrosa Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C. da ; Trouw, R.A.J. ; Janaci, V.A. 2004. Província Mantiqueira. *In: Bartorelli, A. ; Neves, B.B.B. ; Carneiro, C.D.R. ; Mantesso Neto,V. (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano*. Editora Beca, p. 204-235.
- Hippertt, J.F.M., 1990, *Contribuição à geologia e petrologia dos augen-gnaisses de Niterói, RJ*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 203p.
- Iyomasa, W.S. ; Galli, V. L. ; Blanco, R. G. ; Campos, G. C. . O uso do radar de penetração no solo para localização de dutos em áreas urbanas: potencialidades e limitações. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 29, p. 177-188, 2006.
- Machado, R. & Endo, J., 1993b, Cinturão de cisalhamento atlântico: um exemplo de tectônica transpressiva neoproterozóica, *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, SBG, Belo Horizonte, p. 189-190.



- Machado, N.; Valladares, C.S.; Heilbron, M., *et al.*, 1996, U/Pb geocronology of the central Ribeira belt: implications for the evolution of brasiliano orogeny. *Precambrian Research*, no.79, p. 347-361.
- Miranda, A.H. 2007. *Proposta de Estudos para Tratamentos dos Problemas Geotécnicos no Entorno da Lagoa Rodrigo de Freitas*, Rio de Janeiro – RJ. Departamento de Geologia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Relatório Final do Projeto de Monografia, 47p.
- Moura *et al.*, 2006, Levantamento geofísico com GPR em um campo de dunas eólicas em Tibau do Sul/RN, *Revista de Geologia*, Vol. 19, no 1, p. 99-108.
- Olhoeft, G. R., 1984, Application and limitations of ground penetrating radar. *In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING AND EXPLORATION OF SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS*, Atlanta, no 54, p. 147-148.
- Pedrosa Soares, A.C.; Noce, C.M.; Vidal, P.; *et al.*, 1992, Towards a new tectonic model for the late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) Belt. *Journal of South America Earth Science*, vol.6, no. 2, p.33-47.
- Porsani, J. L., 1999, *Ground penetrating radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP. 145 p.
- Schmitt, R.S.; Trouw, R.A.J.; Van Schmus, W. R., 1999, The characterization of a Cambrian (~520 Ma) tectonometamorphic event in the coastal domain of the Ribeira Belt (SE Brazil), using U/Pb in syntectonic veins. *In: SIMPÓSIO SUDAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA*, vol. 2, Cordoba, p. 363-366.
- Sertã, H.B.C, 1986. *Aspectos Geológicos e Geotécnicos do Solo Residual do Campo Experimental II da PUC-RJ*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 185 p.

- Silva, P.C.F. da & Silva, R.R. da, 1987. Mapeamento Geológico-estrutural da serra da carioca e adjacências, Município do Rio de Janeiro. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL*, 1987. Anais p. 198-209.
- Tapajoz, L.H.C. (2008). Comunicação pessoal.
- Trouw, R. A. J.; Heilbron, M.; Ribeiro, A.; *et al.*, 2000, The central segment of the Ribeira Belt, *In: Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, p.287- 310.
- Uhlein, A.; Egydio-Silva, M.; Trompette, R.; *et al.*, 1999, Paleogeografia e inversão tectônica da Faixa Araçuaí. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, vol.7, Lençóis. Anais, p. 26-29.
- Una Arquitetos (2009). Projeto da Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro , disponível em [http://www.unaarquitetos.com.br/ve/projlista/projetos/30\\_metro\\_rio2/projeto.htm#top](http://www.unaarquitetos.com.br/ve/projlista/projetos/30_metro_rio2/projeto.htm#top) .
- Data de acesso 16/02/2009.

**APÊNDICE A****BOLETINS DE SONDAGENS**

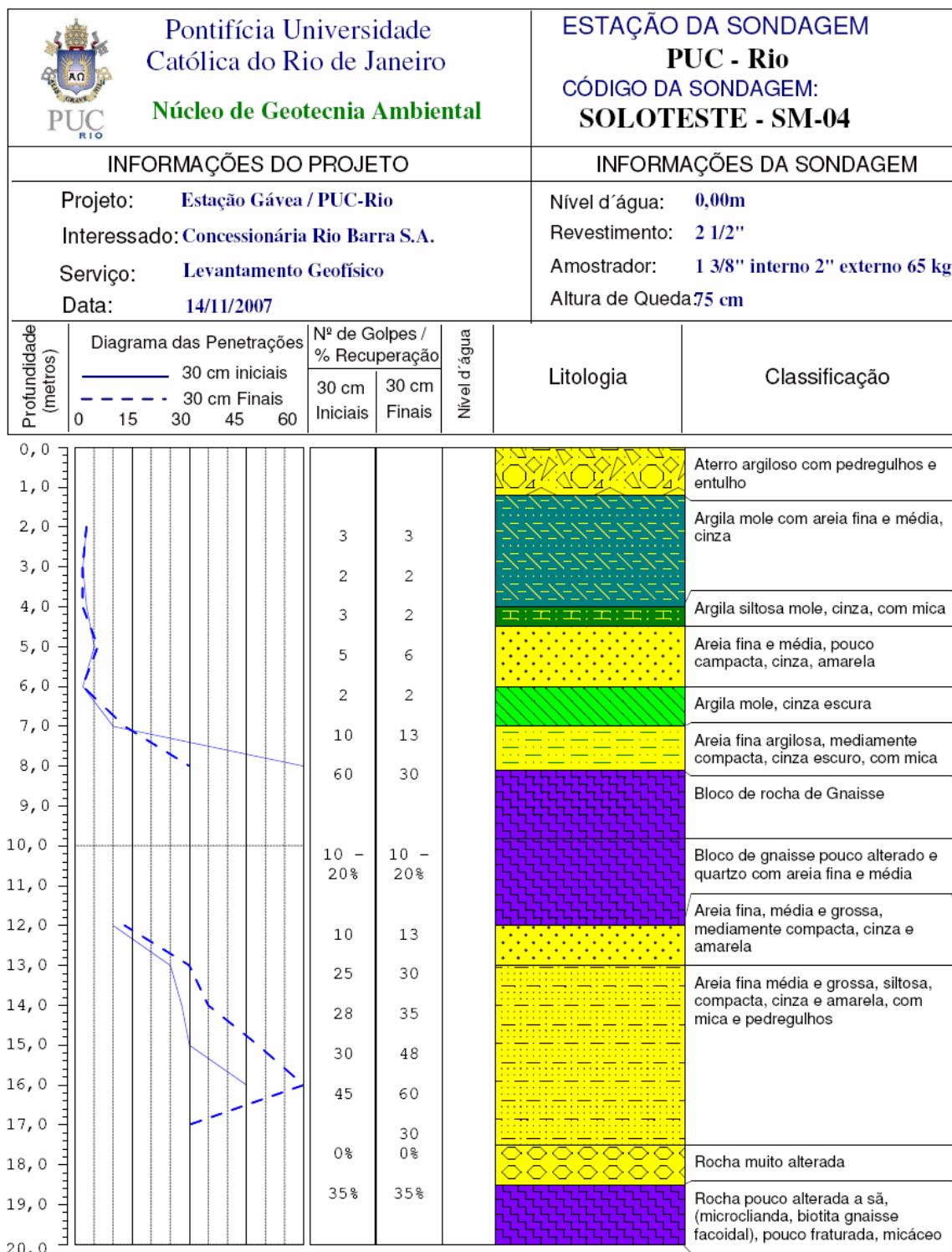


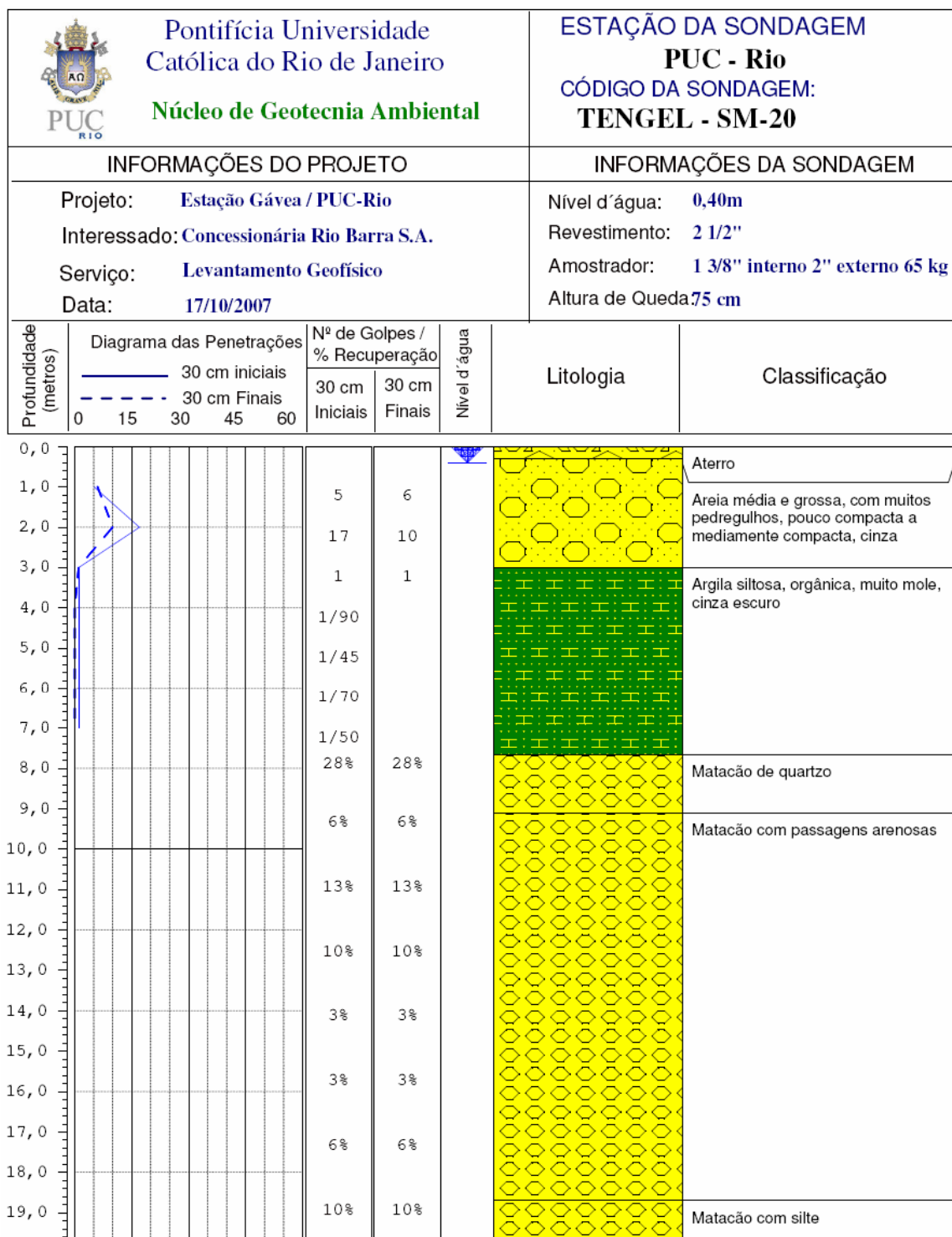
<div></div> <div>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</div> <div>Núcleo de Geotecnia Ambiental</div>				<div>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</div> <div>PUC - Rio</div> <div>CÓDIGO DA SONDAGEM:</div> <div>SOLOTESTE - SM-02</div>		
INFORMAÇÕES DO PROJETO				INFORMAÇÕES DA SONDAGEM		
Projeto: Estação Gávea / PUC-Rio				Nível d'água: 0,40m		
Interessado: Concessionária Rio Barra S.A.				Revestimento: 2 1/2"		
Serviço: Levantamento Geofísico				Amostrador: 1 3/8" interno 2" externo 65 kg		
Data: 28/05/2007				Altura de Queda 75 cm		
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Nível d'água	Litologia	Classificação
		30 cm Iniciais	30 cm Finais			
	<div><div>— 30 cm iniciais</div><div>- - - 30 cm Finais</div></div> <div>0 15 30 45 60</div>					
0,0		3	4		<div></div>	Aterro argiloso com pedregulhos e entulho
1,0		2	2		<div></div>	Argila mole com areia fina e média, cinza escura
2,0		3	4			
3,0		7	8			
4,0		7	8		<div></div>	Areia fina e média silto argilosa, pouco compacta, cinza e amarela, com mica
5,0		7	8			
6,0		7	8			
7,0					<div></div>	Bloco de rocha de gnaiss
8,0					<div></div>	Areia fina siltosa, fofa, cinza
9,0					<div></div>	Bloco de rocha de gnaiss
10,0		6	7		<div></div>	Areia fina siltosa pouco compacta, cinza e amarela, com mica
11,0					<div></div>	Blocos, veios de quartzo, cinza claro
12,0			13		<div></div>	Areia fina e média, mediamente compacta, cinza e amarelo, com mica
13,0		10	32		<div></div>	Silte argiloso duro, com areia fina e média, cinza e amarelo, como pedregulhos alterados, com mica (Solo Residual)
14,0		22	32		<div></div>	
15,0		24	42		<div></div>	
16,0		26	42		<div></div>	
17,0		32	30		<div></div>	
18,0		45	30		<div></div>	
19,0		45	30		<div></div>	
20,0		90%	90%		<div></div>	Rocha muito alterada (silte arenoso, muito compacto, cinza, com mica, com pedregulhos)
21,0					<div></div>	Rocha alterada a sã, microclinada, biotita, gnaiss facoidal, pouco fraturado, micáceo

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

<p>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</p> <p>Núcleo de Geotecnia Ambiental</p>				<p>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</p> <p><b>PUC - Rio</b></p> <p>CÓDIGO DA SONDAGEM:</p> <p><b>SOLOTESTE - SM-03</b></p>	
INFORMAÇÕES DO PROJETO				INFORMAÇÕES DA SONDAGEM	
Projeto: <b>Estação Gávea / PUC-Rio</b> Interessado: <b>Concessionária Rio Barra S.A.</b> Serviço: <b>Levantamento Geofísico</b> Data: <b>09/11/2007</b>				Nivel d'água: <b>0,00m</b> Revestimento: <b>2 1/2"</b> Amostrador: <b>1 3/8" interno 2" externo 65 kg</b> Altura de Queda <b>75 cm</b>	
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Litologia	Classificação
		30 cm Iniciais	30 cm Finais		
0,0	— 30 cm iniciais - - 30 cm Finais	0	15		
1,0					
2,0		3	4		Aterro argiloso com pedregulhos e entulho
3,0		2	3		Areia fina e média, siltosa, fofa, amarela
4,0		9	7		Areia fina a média, argilosa, fofa a pouco compacta, cinza e amarela com mica
5,0		6	8		
6,0		5	5		Areia fina a média, muito argilosa, pouco compacta, cinza
7,0		5	6		
8,0		5	5		Areia fina a média, siltosa, pouco compacta a muito compacta, cinza e amarela, com mica
9,0		45	30		
10,0		5	6		Blocos, veios de quartzo, cor clara
11,0		10	13		Areia fina e média, siltosa, pouco compacta a mediamente compacta, cinza e amarela, com mica
12,0		60	30		Blocos e veios de quartzo, cor clara
13,0		25	30		Silte argiloso duro com areia fina a média, cinza e amarela, com mica e pedregulhos alterados
14,0		25	32		
15,0		44	47		







<div></div> <div>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</div> <div>Núcleo de Geotecnia Ambiental</div>					<div>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</div> <div>PUC - Rio</div> <div>CÓDIGO DA SONDAGEM:</div> <div>TENGEL - SM-35</div>	
INFORMAÇÕES DO PROJETO					INFORMAÇÕES DA SONDAGEM	
Projeto: Estação Gávea / PUC-Rio					Nível d'água: 0,70m	
Interessado: Concessionária Rio Barra S.A.					Revestimento: 2 1/2"	
Serviço: Levantamento Geofísico					Amostrador: 1 3/8" interno 2" externo 65 kg	
Data: 17/10/2007					Altura de Queda: 75 cm	
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Nível d'água	Litologia	Classificação
		30 cm Iniciais	30 cm Finais			
	<div>— 30 cm iniciais</div> <div>- - - 30 cm Finais</div> <div>0 15 30 45 60</div>					
0,0						
1,0		5	6			Areia grossa, com muitos pedregulhos, pouco compacta e fofa, amarela
2,0		5	3			
3,0		1	1			Argila siltosa, muito mole, cinza escuro
4,0		3	4			Areia grossa, muito mole, cinza escuro
5,0		1/40	1/20			Argila siltosa, muito mole, cinza escuro
6,0		1/95				
7,0		1/15	1/30			Areia grossa, com muitos pedregulhos, muito compacta, cinza
8,0		30/6				
9,0		32%	32%			
10,0		19%	19%			Matacão de quartzo
11,0						
12,0		6%	6%			
13,0						Areia média e grossa, siltosa, com pedregulhos, cinza
14,0						
15,0						
16,0						
17,0						
18,0		6%	6%			
19,0		10%	10%			Matacão de quartzo
20,0						

<div></div> <div>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</div> <div>Núcleo de Geotecnia Ambiental</div>				<div>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</div> <div>PUC - Rio</div> <div>CÓDIGO DA SONDAGEM:</div> <div>TENGEL - SP-4</div>			
INFORMAÇÕES DO PROJETO						INFORMAÇÕES DA SONDAGEM	
Projeto: Estação Gávea / PUC-Rio						Nível d'água: 0,78m	
Interessado: Concessionária Rio Barra S.A.						Revestimento: 2 1/2"	
Serviço: Levantamento Geofísico						Amostrador: 1 3/8" interno 2" externo 65 kg	
Data: 17/10/2007						Altura de Queda: 75 cm	
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Nível d'água	Litologia	Classificação	
		30 cm Iniciais	30 cm Finais				
	— 30 cm iniciais - - - 30 cm Finais	0	15	30	45	60	
0,0							
1,0		4	5				Argila siltosa, com areia, muito mole e mole, amarela
2,0		1	1/15				
3,0		1	1/15				
4,0		1	1				Areia fina e média, argilosa, fofa, cinza escuro
5,0		1	1				Argila turfosa, muito mole, preta
6,0		1	1				
7,0		1	1				
8,0		1/50					argila muito arenosa, muito mole, cinza escuro
9,0		6	10				
10,0		20	16				Areia grossa, com muitos pedregulhos, mediantemente compacta e pouco compacta, cinza escuro
11,0		2	2				
12,0		6	7				
13,0							Impenetrável na lavagem

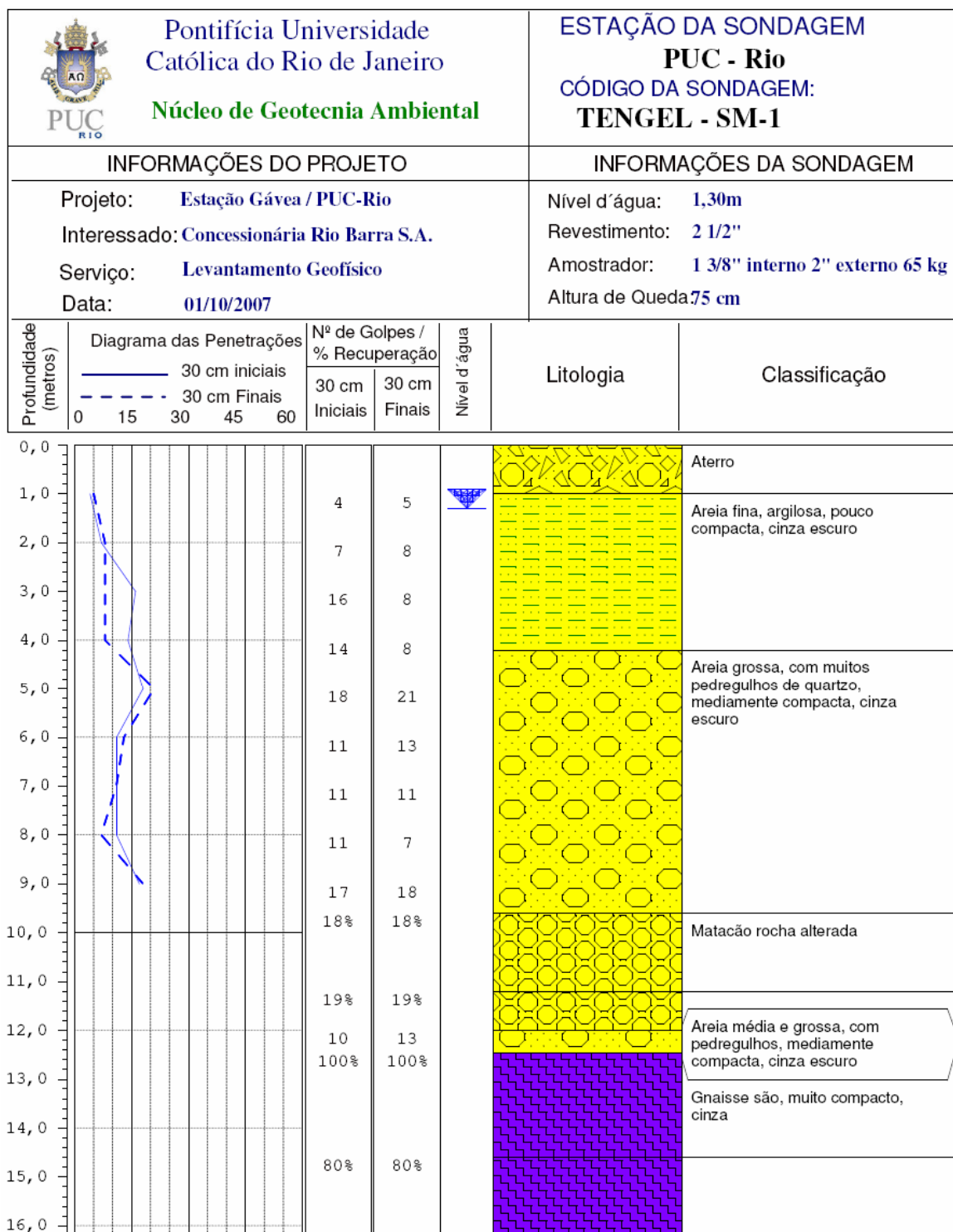
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

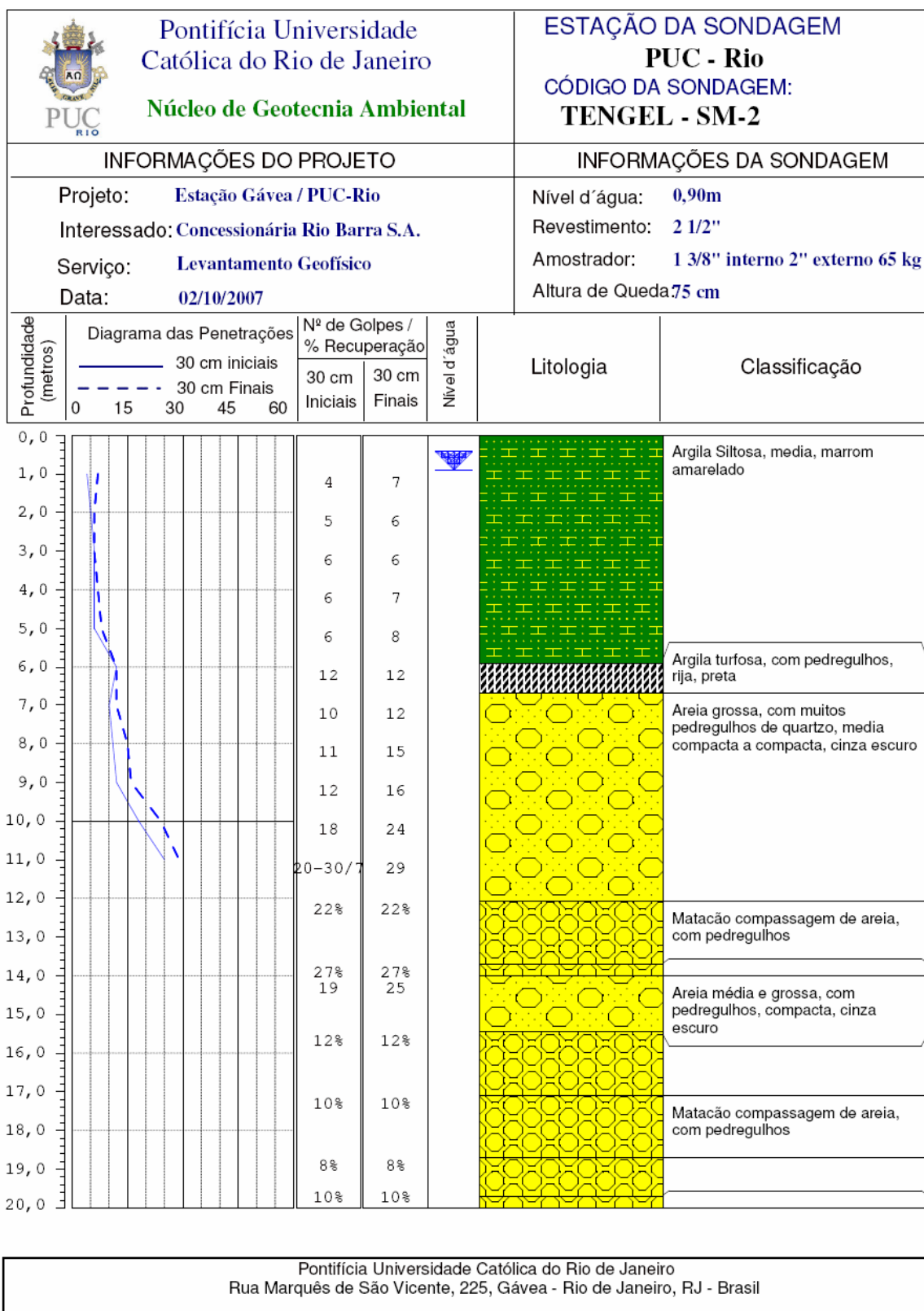
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

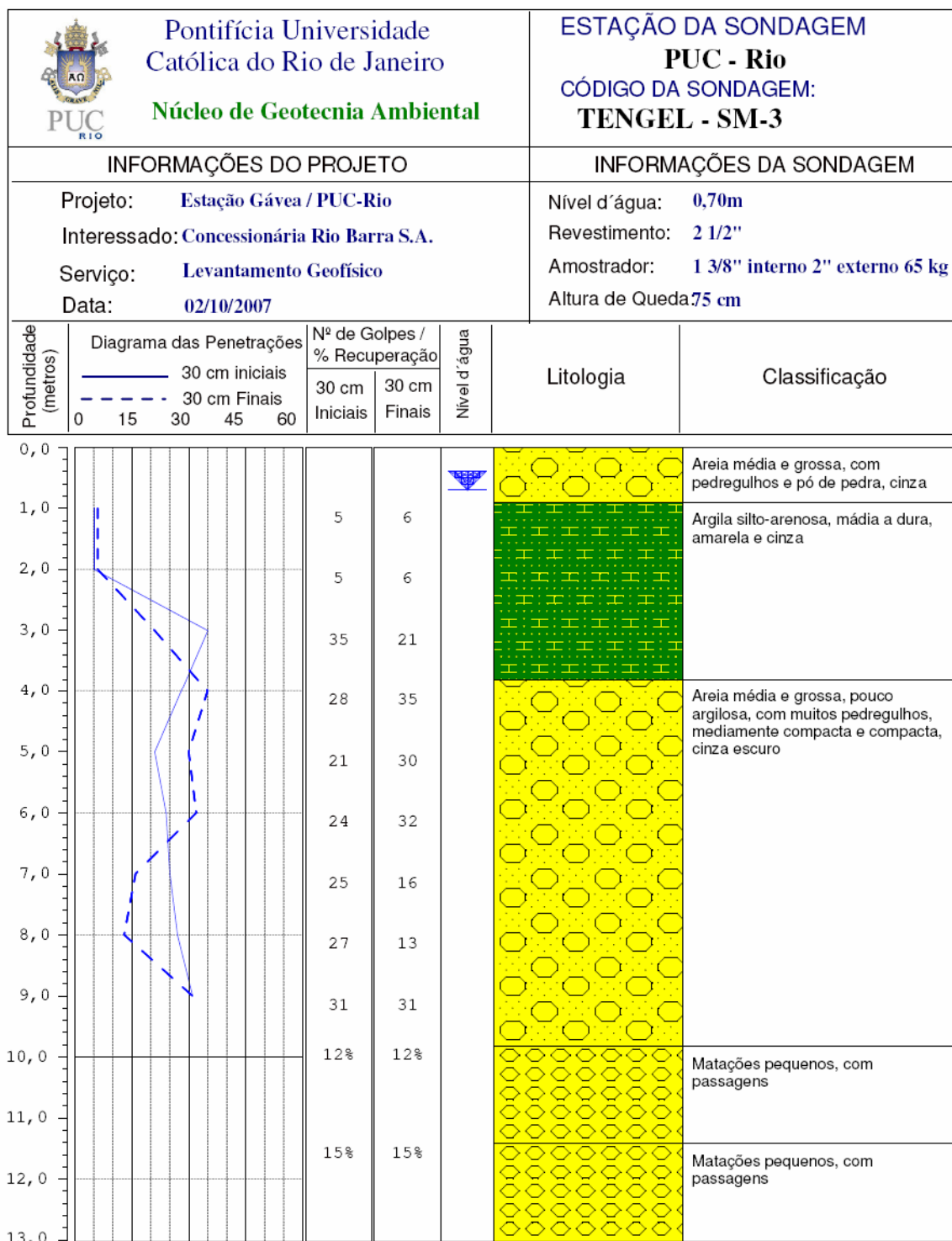
<div></div> <div>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</div> <div>Núcleo de Geotecnia Ambiental</div>				<div>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</div> <div>PUC - Rio</div> <div>CÓDIGO DA SONDAGEM:</div> <div>TENGEL - SP-4</div>			
INFORMAÇÕES DO PROJETO						INFORMAÇÕES DA SONDAGEM	
Projeto: Estação Gávea / PUC-Rio						Nível d'água: 0,78m	
Interessado: Concessionária Rio Barra S.A.						Revestimento: 2 1/2"	
Serviço: Levantamento Geofísico						Amostrador: 1 3/8" interno 2" externo 65 kg	
Data: 17/10/2007						Altura de Queda: 75 cm	
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Nível d'água	Litologia	Classificação	
		30 cm Iniciais	30 cm Finais				
	<div>— 30 cm iniciais</div> <div>- - - 30 cm Finais</div> <div>0 15 30 45 60</div>						
0,0						Argila siltosa, com areia, muito mole e mole, amarela	
1,0		4	5				
2,0		1	1/15				
3,0		1	1/15				
4,0		1	1			Areia fina e média, argilosa, fofa, cinza escuro	
5,0		1	1				
6,0		1	1			Argila turfosa, muito mole, preta	
7,0		1	1				
8,0		1/50				argila muito arenosa, muito mole, cinza escuro	
9,0		6	10				
10,0		20	16			Areia grossa, com muitos pedregulhos, mediantemente compacta e pouco compacta, cinza escuro	
11,0		2	2				
12,0		6	7				
13,0						Impenetrável na lavagem	

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

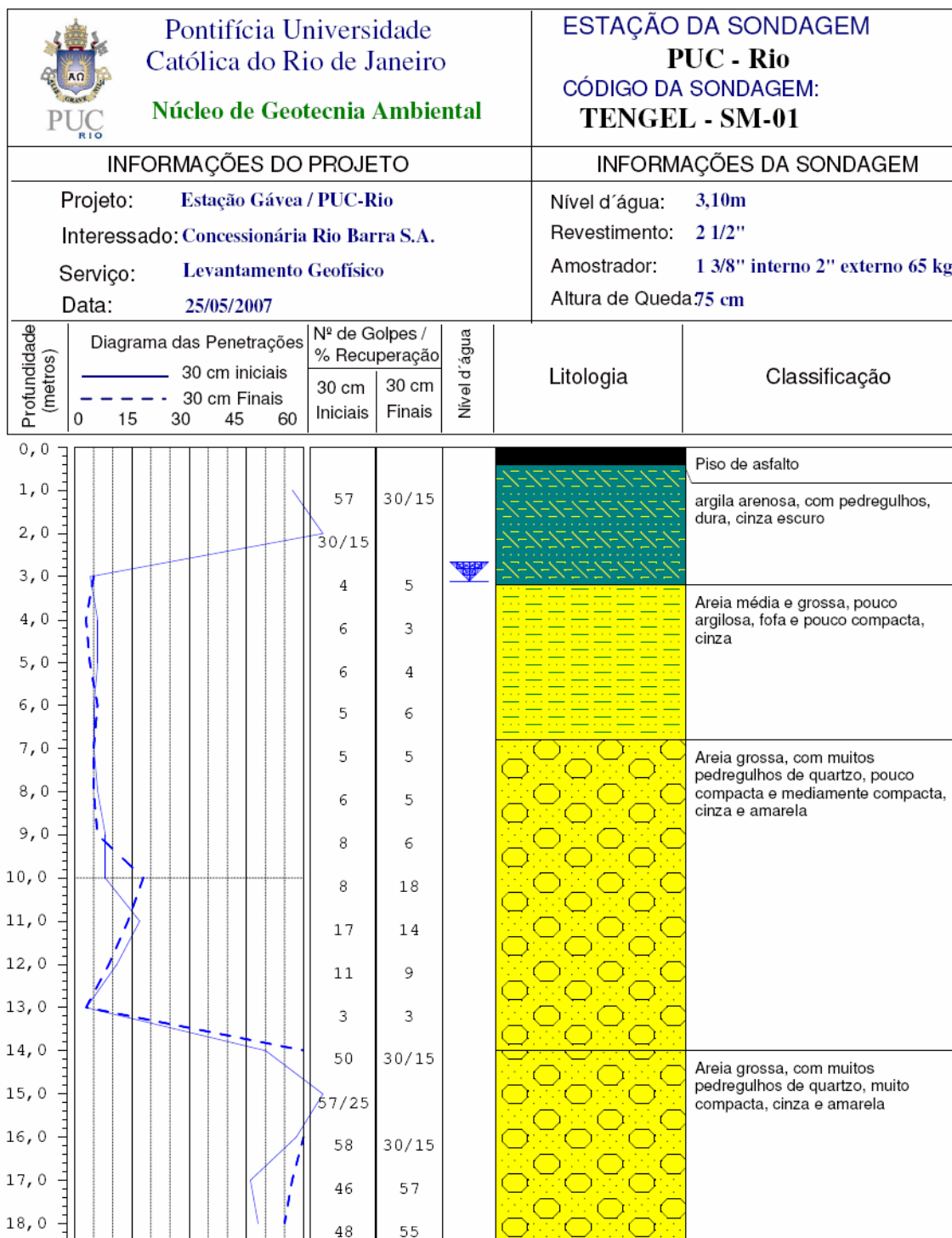
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

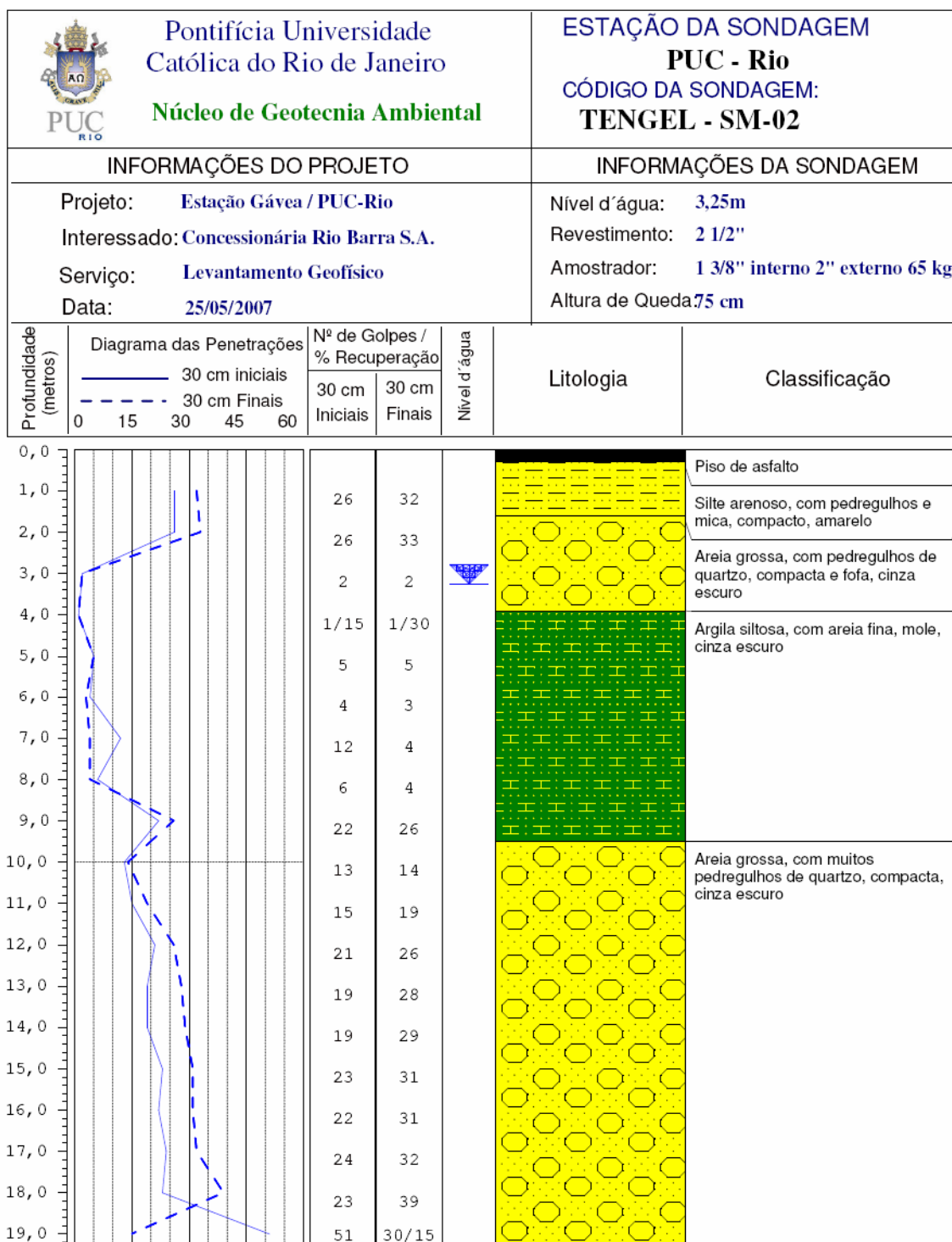




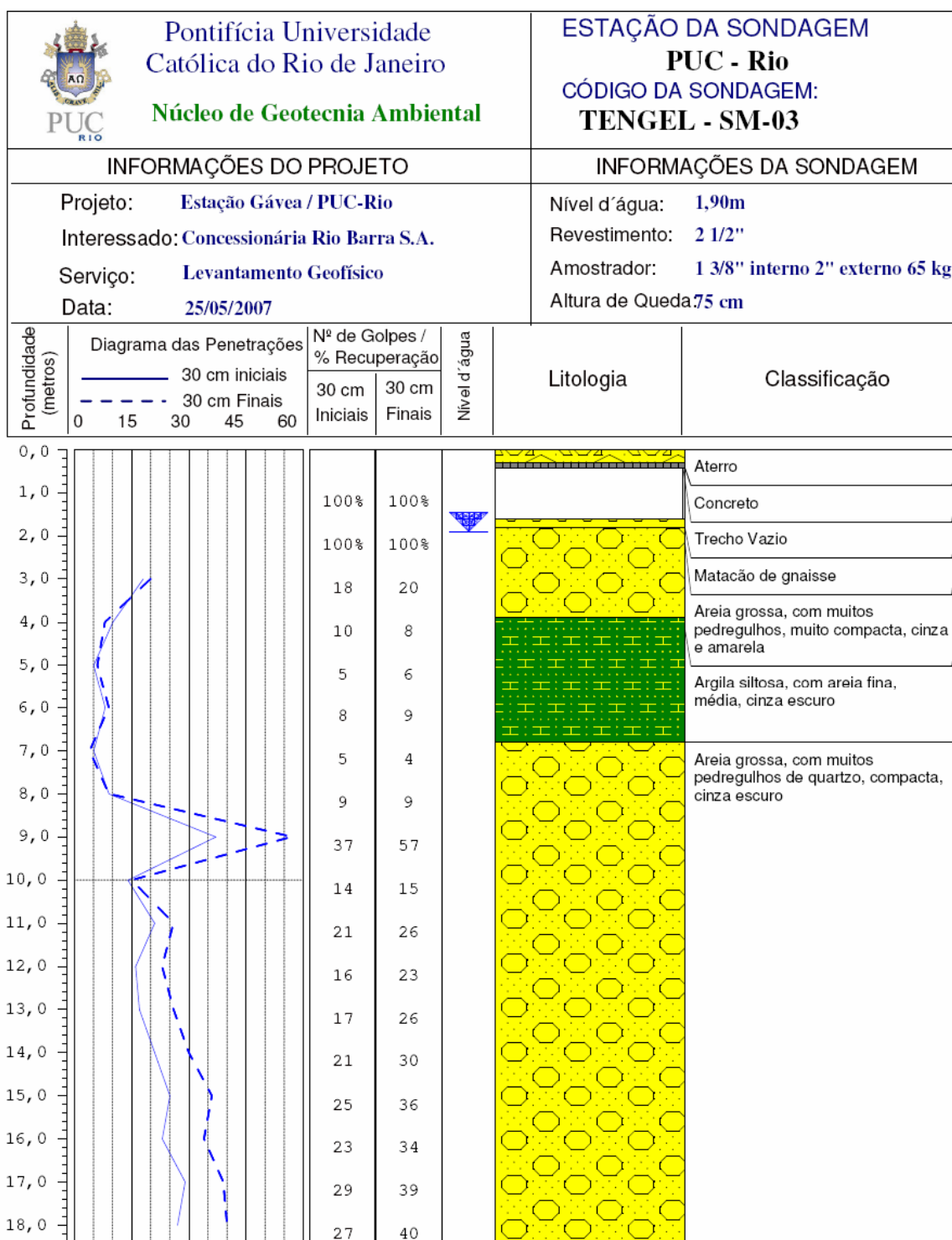


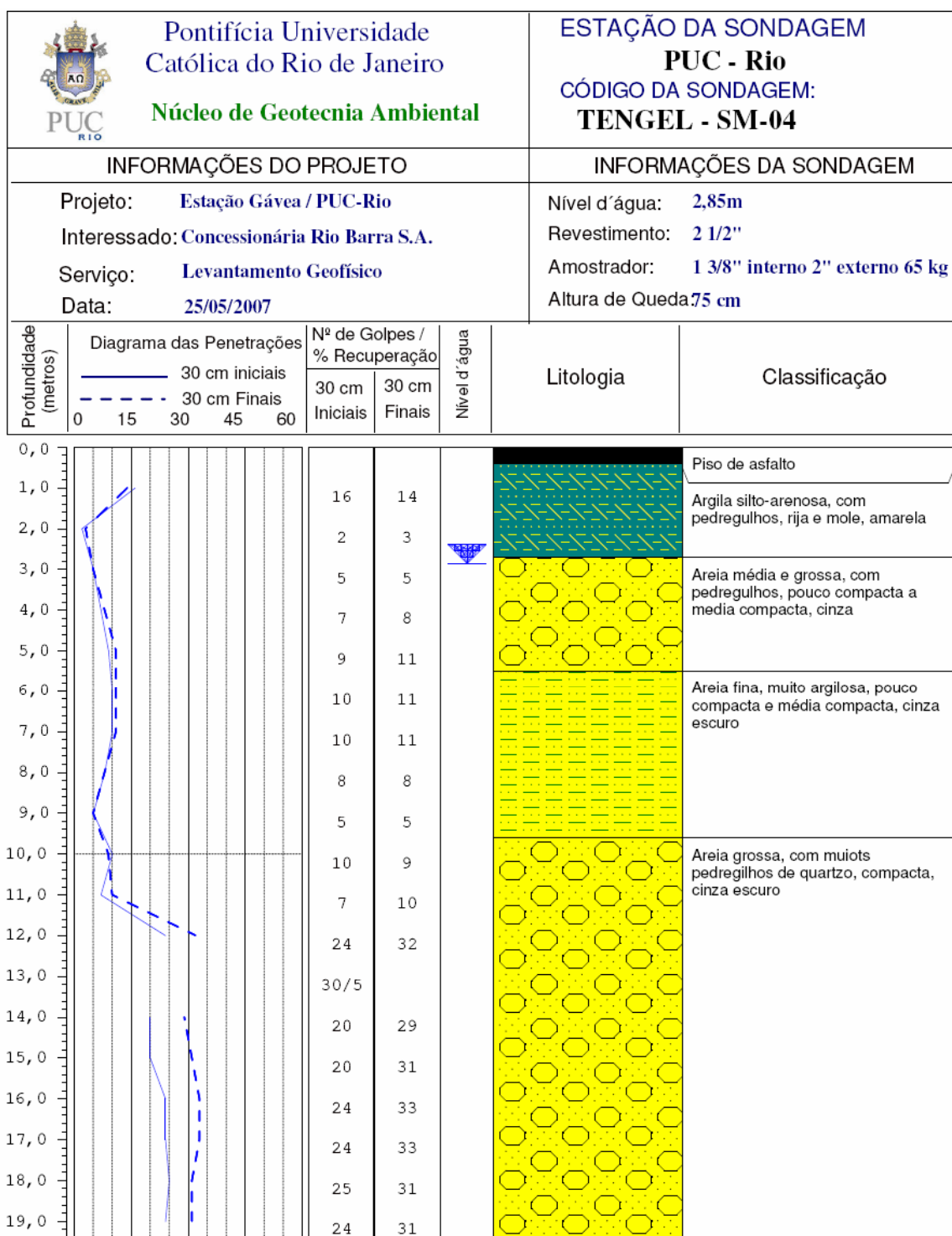


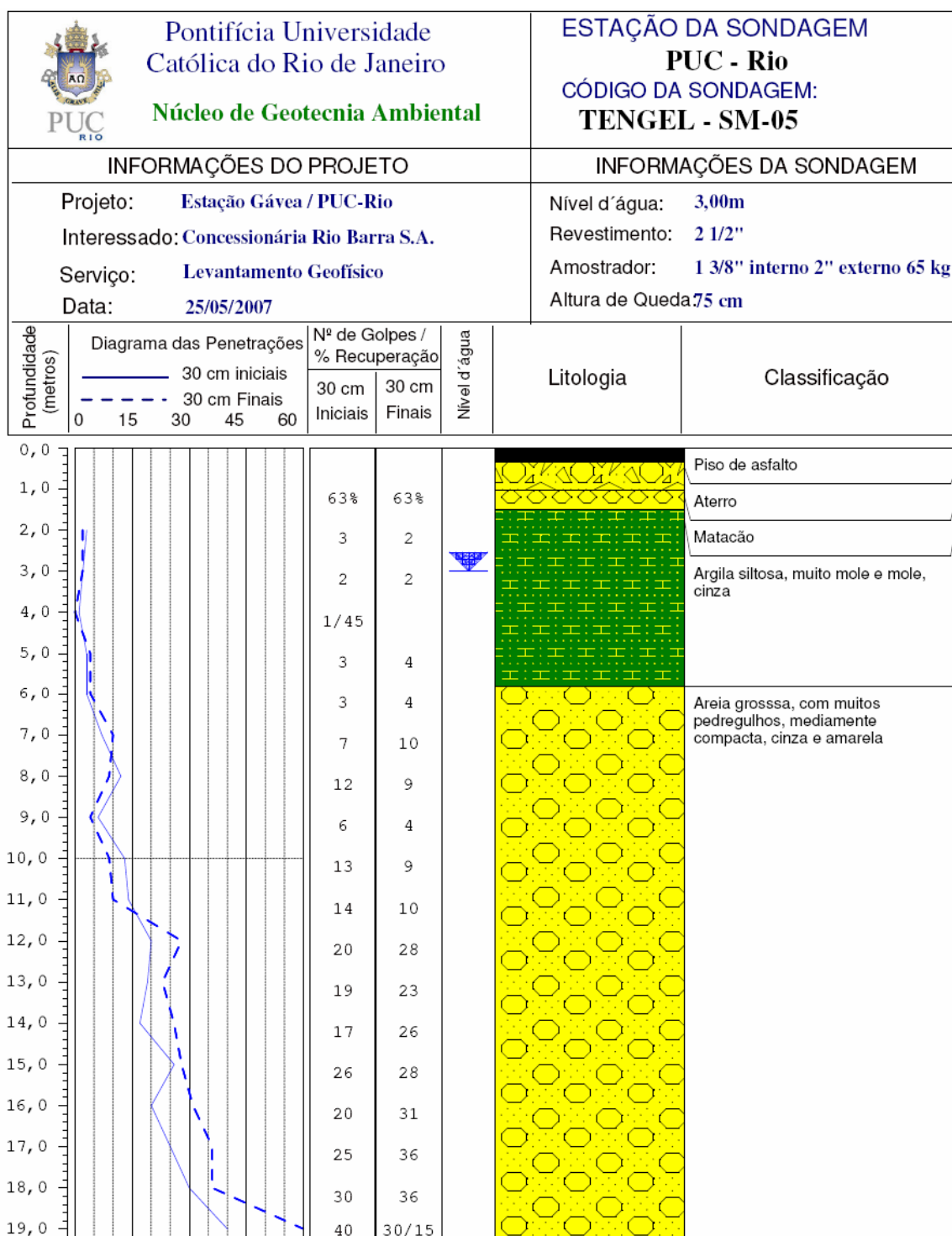


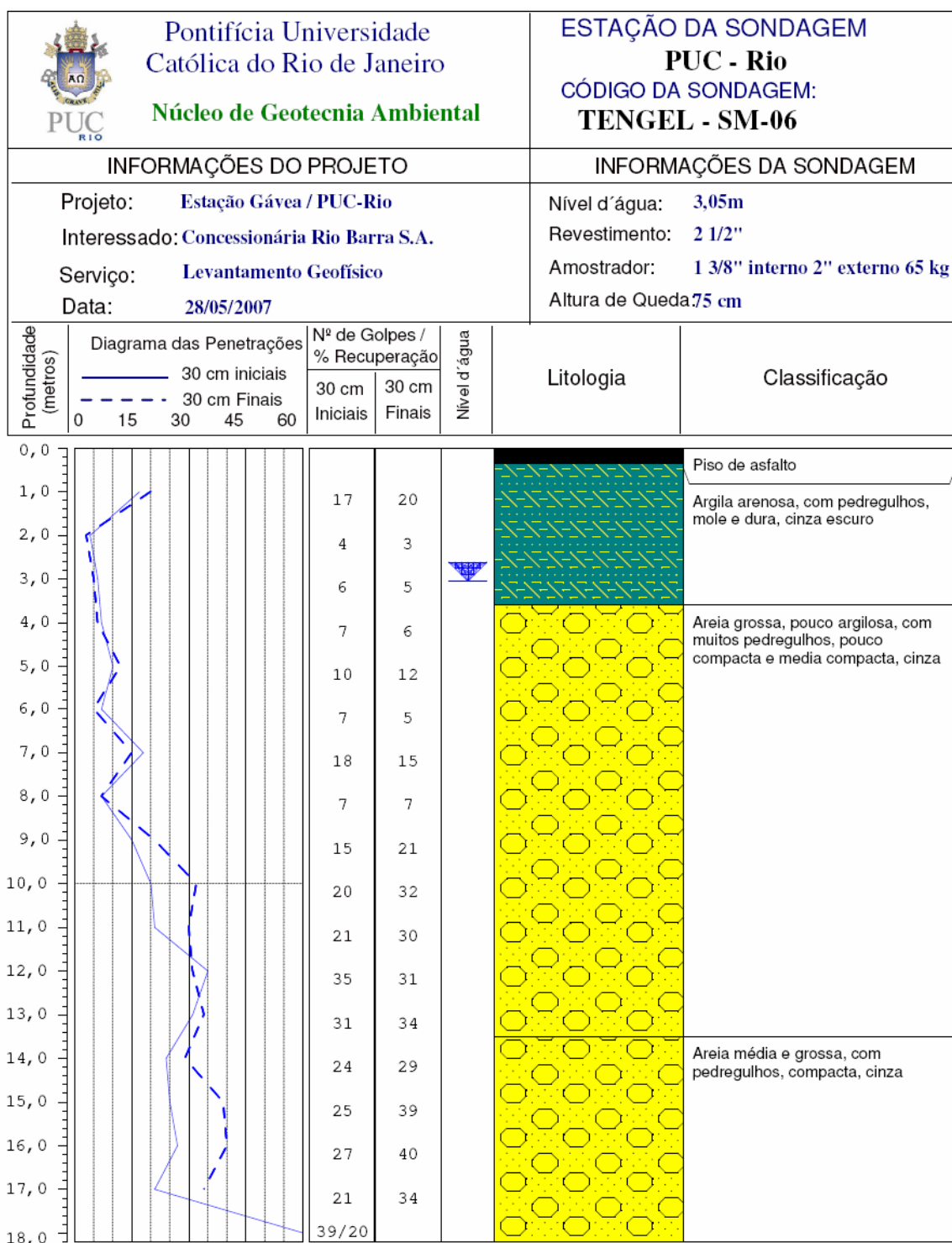


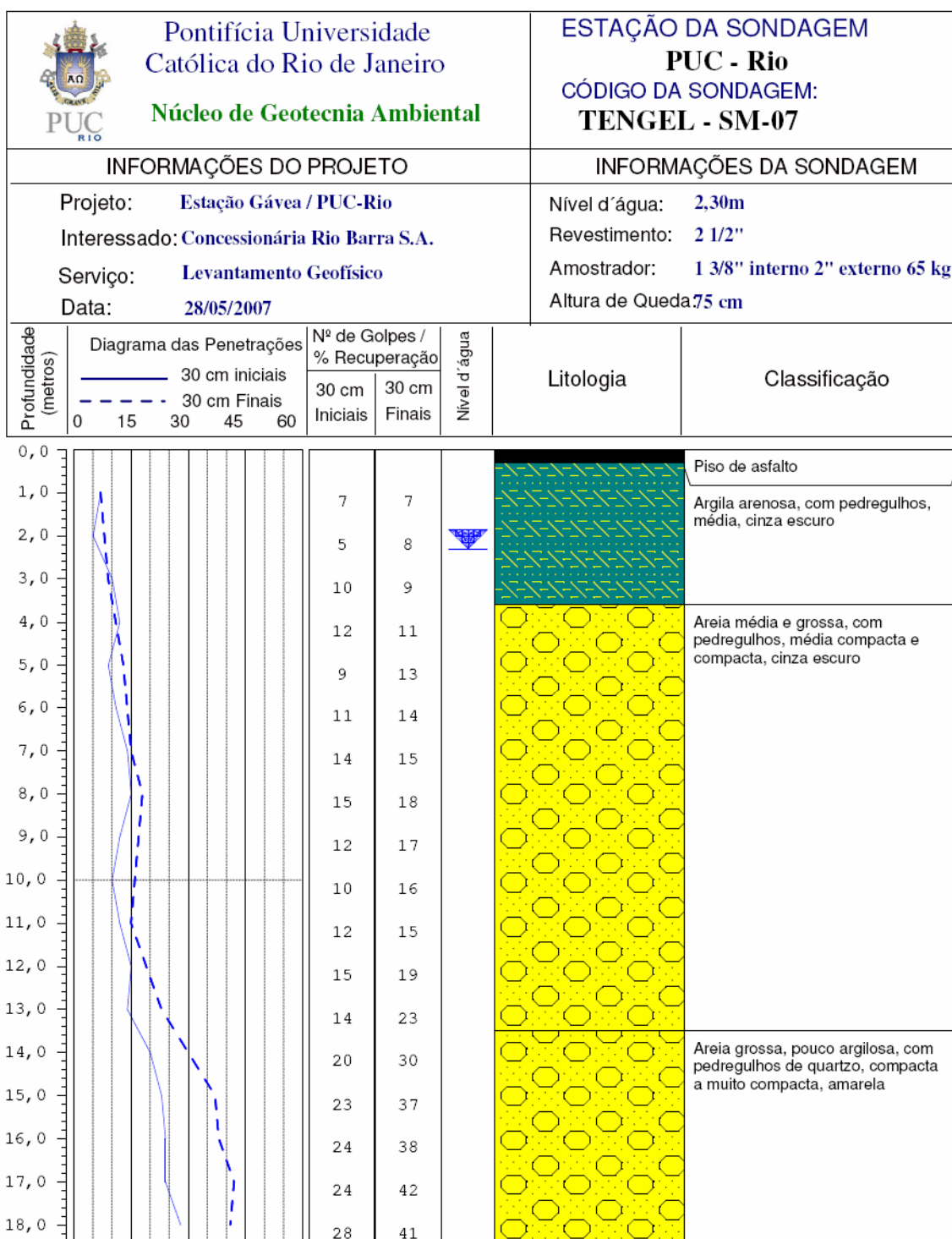


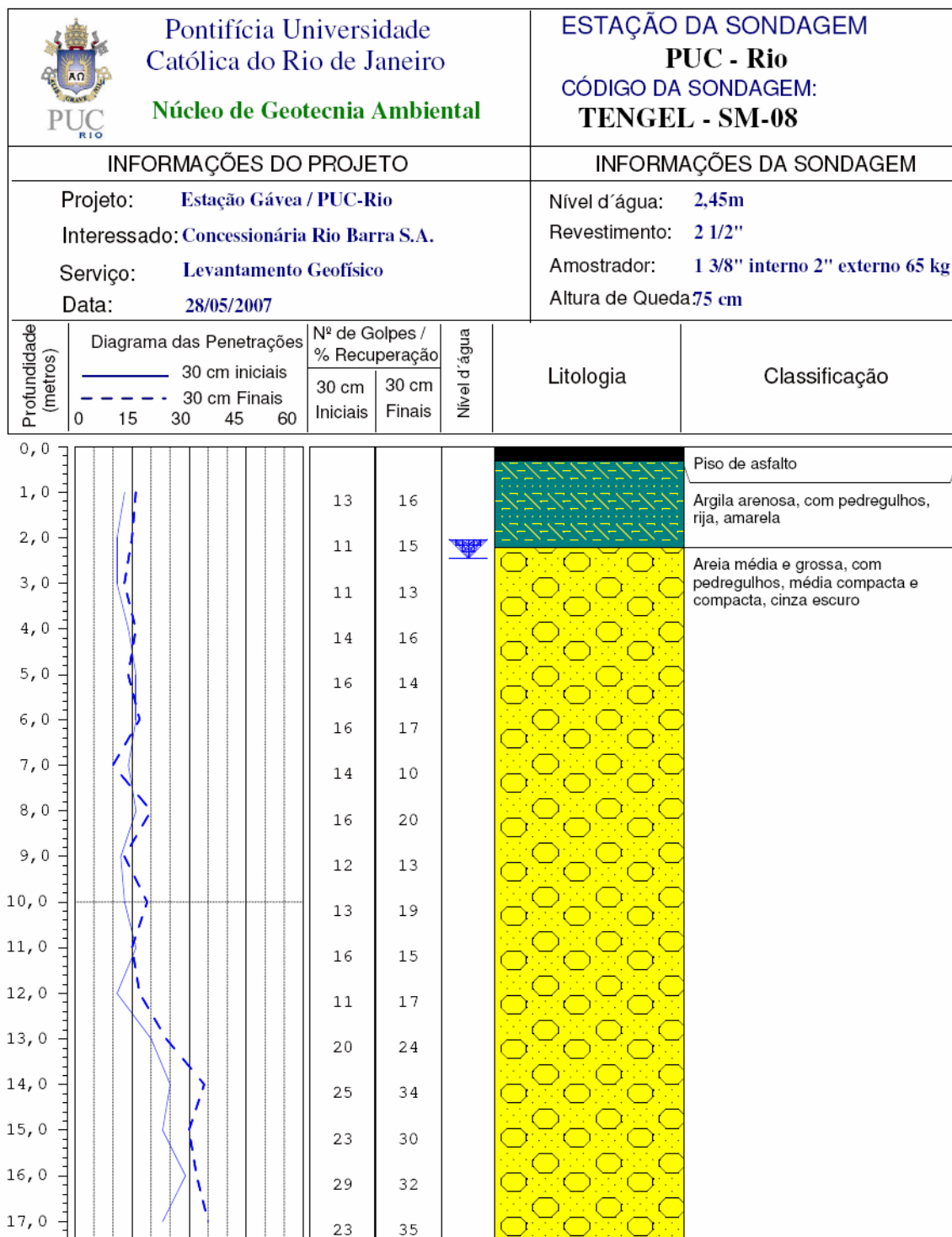




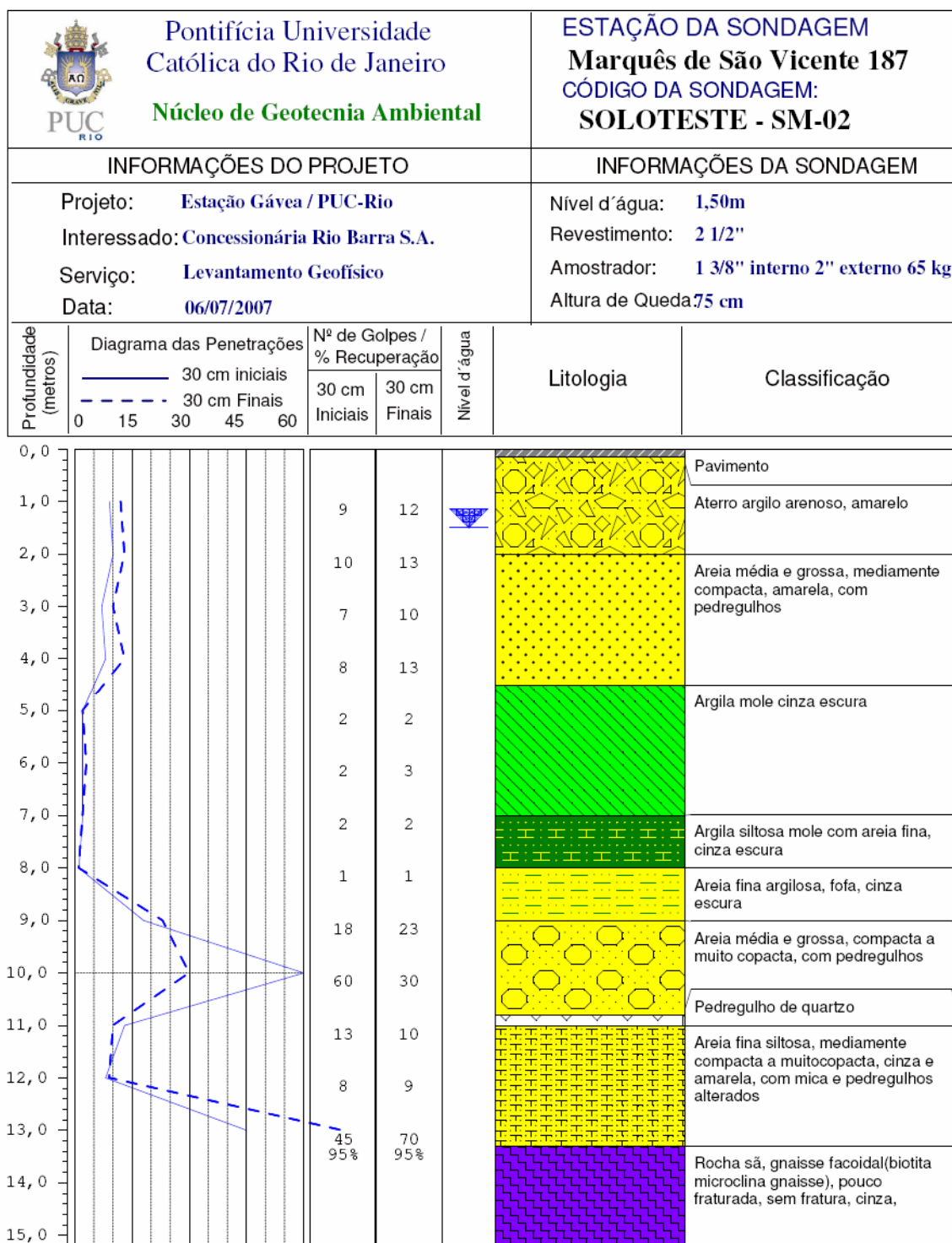



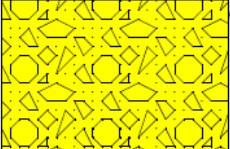
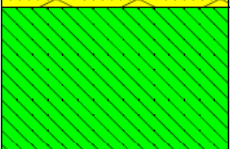
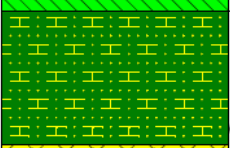
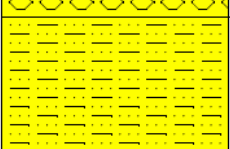
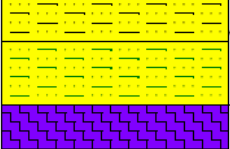
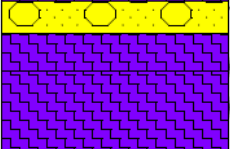

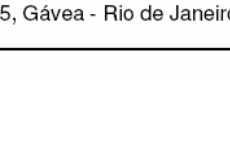





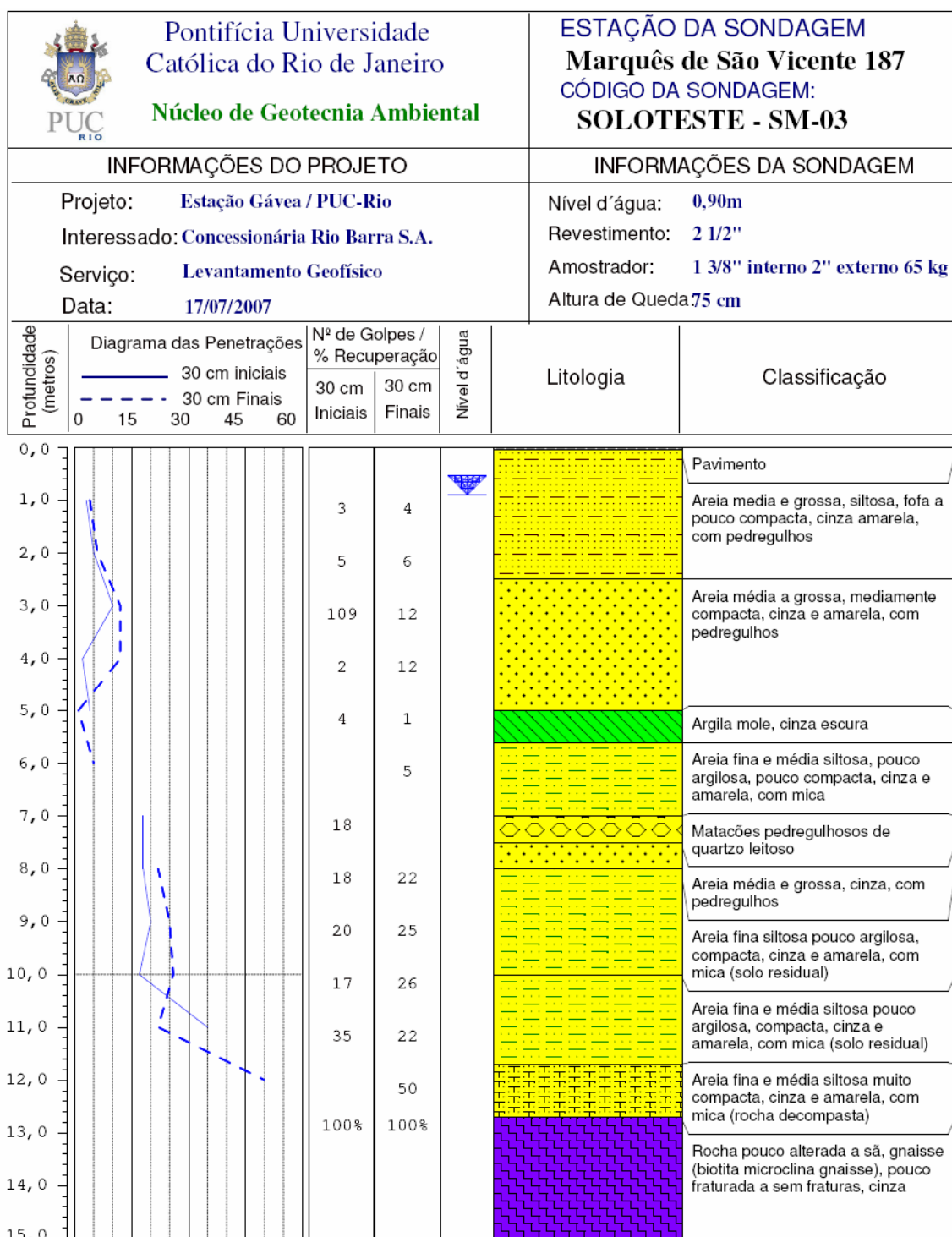


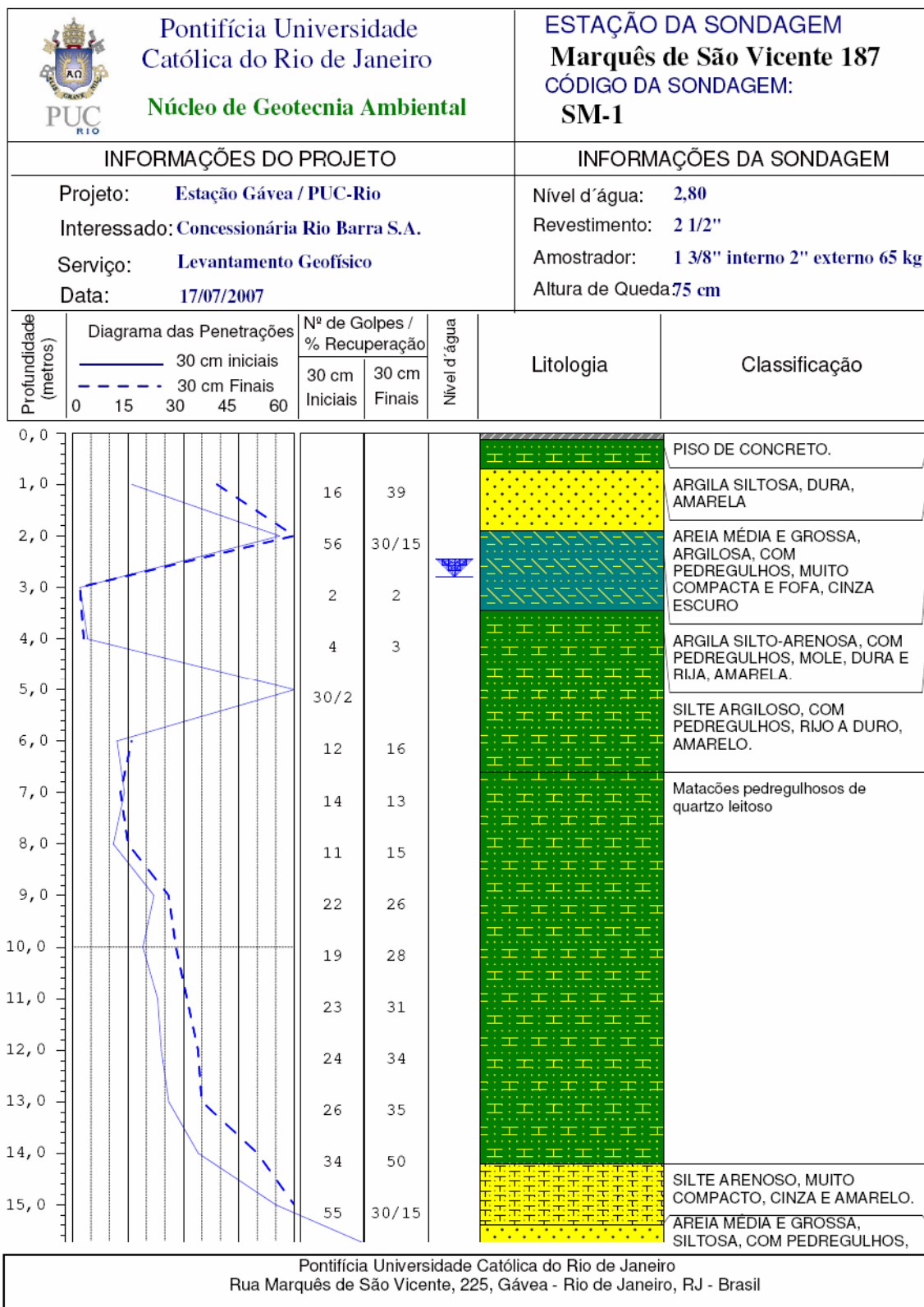




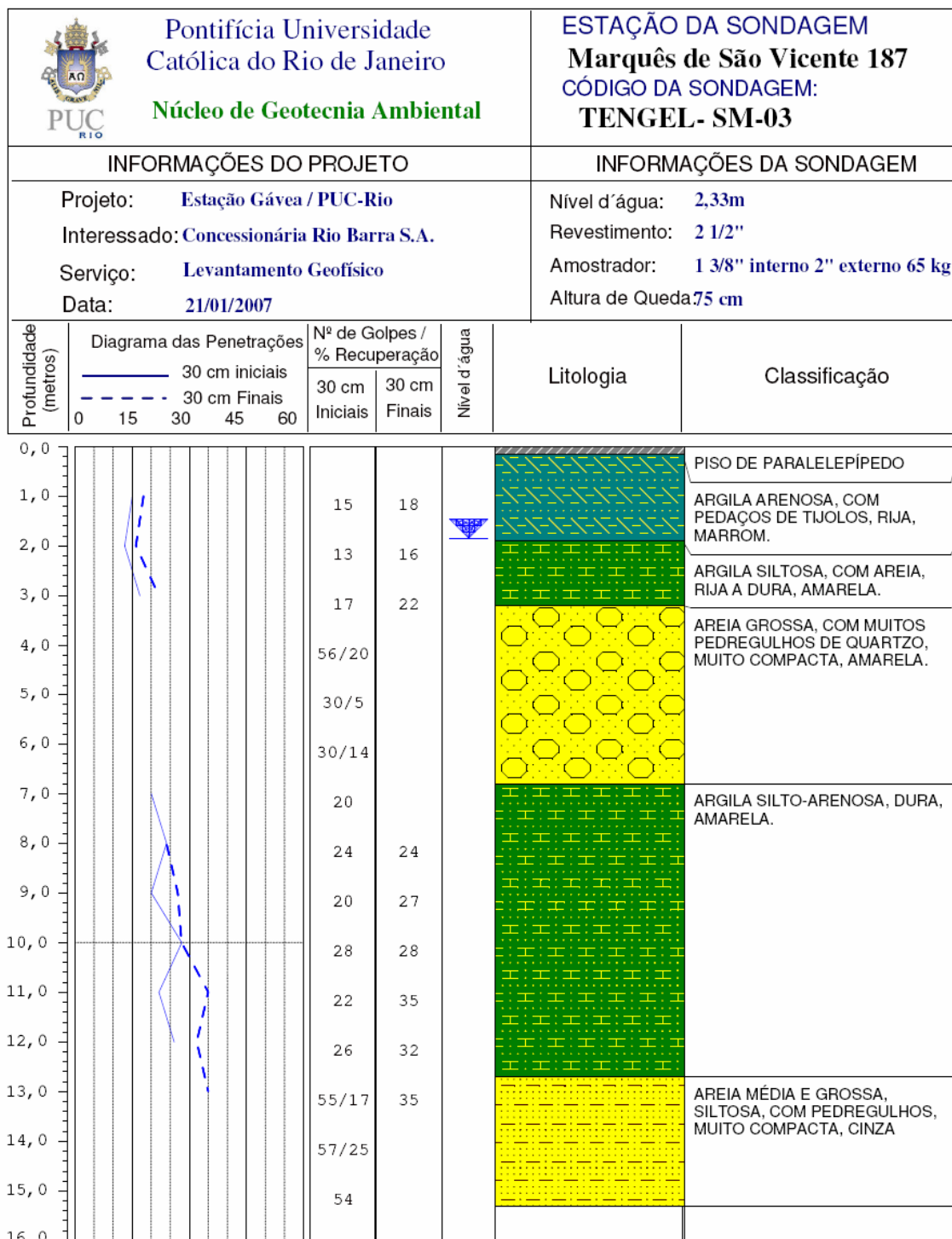
 <p>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</p> <p>Núcleo de Geotecnia Ambiental</p>				<p><b>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</b></p> <p><b>Marquês de São Vicente 187</b></p> <p><b>CÓDIGO DA SONDAGEM:</b></p> <p><b>SOLOTESTE - SM-02</b></p>			
INFORMAÇÕES DO PROJETO				INFORMAÇÕES DA SONDAGEM			
Projeto: <b>Estação Gávea / PUC-Rio</b> Interessado: <b>Concessionária Rio Barra S.A.</b> Serviço: <b>Levantamento Geofísico</b> Data: <b>13/07/2007</b>				Nivel d'água: <b>0,80m</b> Revestimento: <b>2 1/2"</b> Amostrador: <b>1 3/8" interno 2" externo 65 kg</b> Altura de Queda: <b>75 cm</b>			
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações	Nº de Golpes / % Recuperação		Nivel d'água	Litologia	Classificação	
		30 cm Iniciais	30 cm Finais				
0,0	— 30 cm iniciais - - - 30 cm Finais	0	15	30	45	60	
1,0		4	4		 Pavimento Aterro arenoso siltoso, com pedregulhos		
2,0		4	5				
3,0		2	2		 Argila mole, cinza escura		
4,0		1	1				
5,0		4	4		 Argila siltosa pouco arenosa, mole a média, cinza e amarela, com mica		
6,0		2	3				
7,0		6	10		 Pedregulhos, veios de quartzo leitoso		
8,0					 Silte argilo arenoso, compacto amarelado		
9,0							
10,0		15	18		 Areia fina siltosa pouco argilosa, mediamente compacta, cinza e amarela, com mica		
11,0		15					
12,0					 Rocha pouco alterada (gnaisse) fragmentada		
13,0		0%	30%		 Areia fina a média siltosa, muito compacta, cinza e amarela, com mica, com pedregulhos(rocha decomposta)		
14,0		90%	90%				
15,0					 Rocha decomposta, gnaisse Rocha pouco alterada a sã, gnaisse, pouco fraturada a sem fratura, cinza		




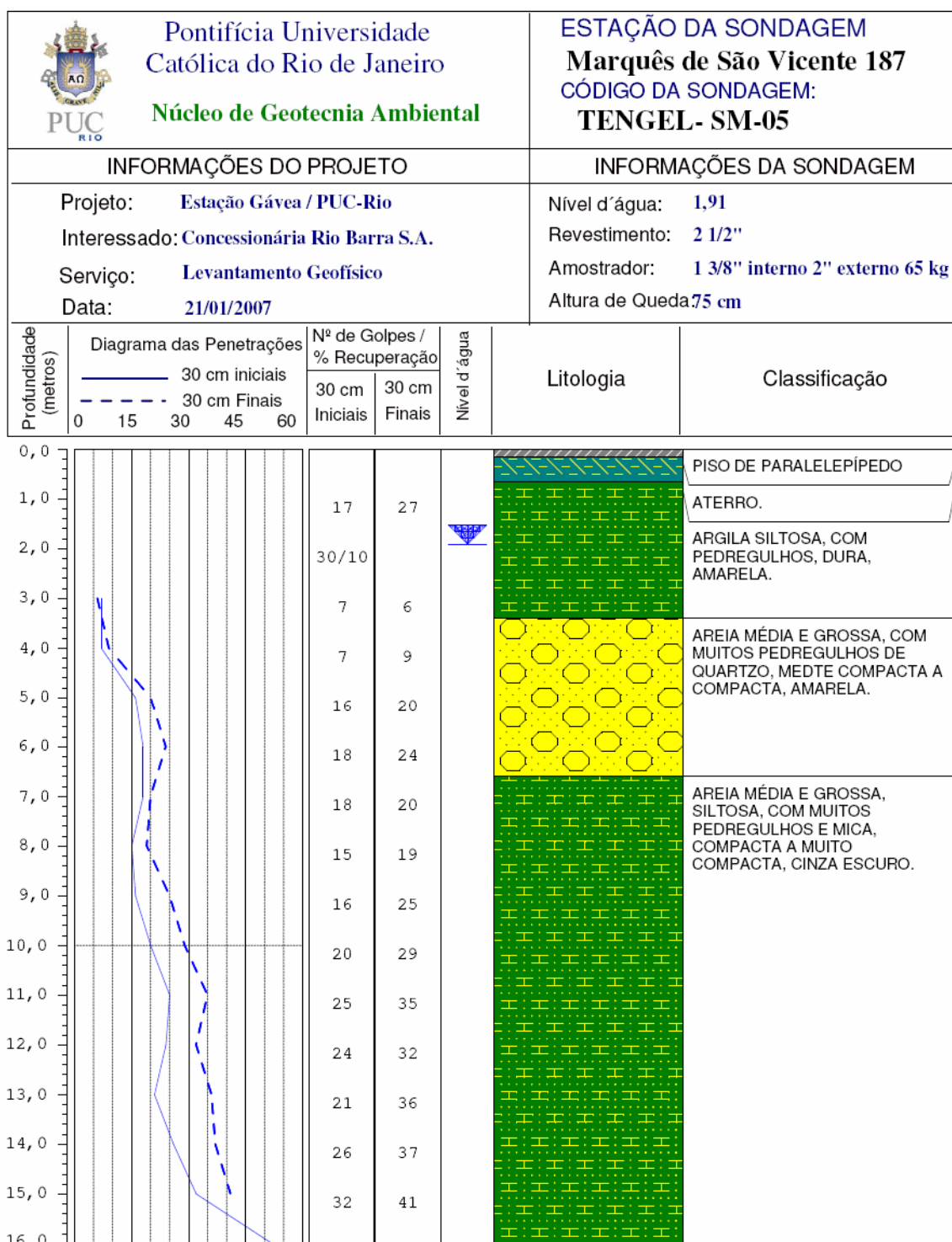




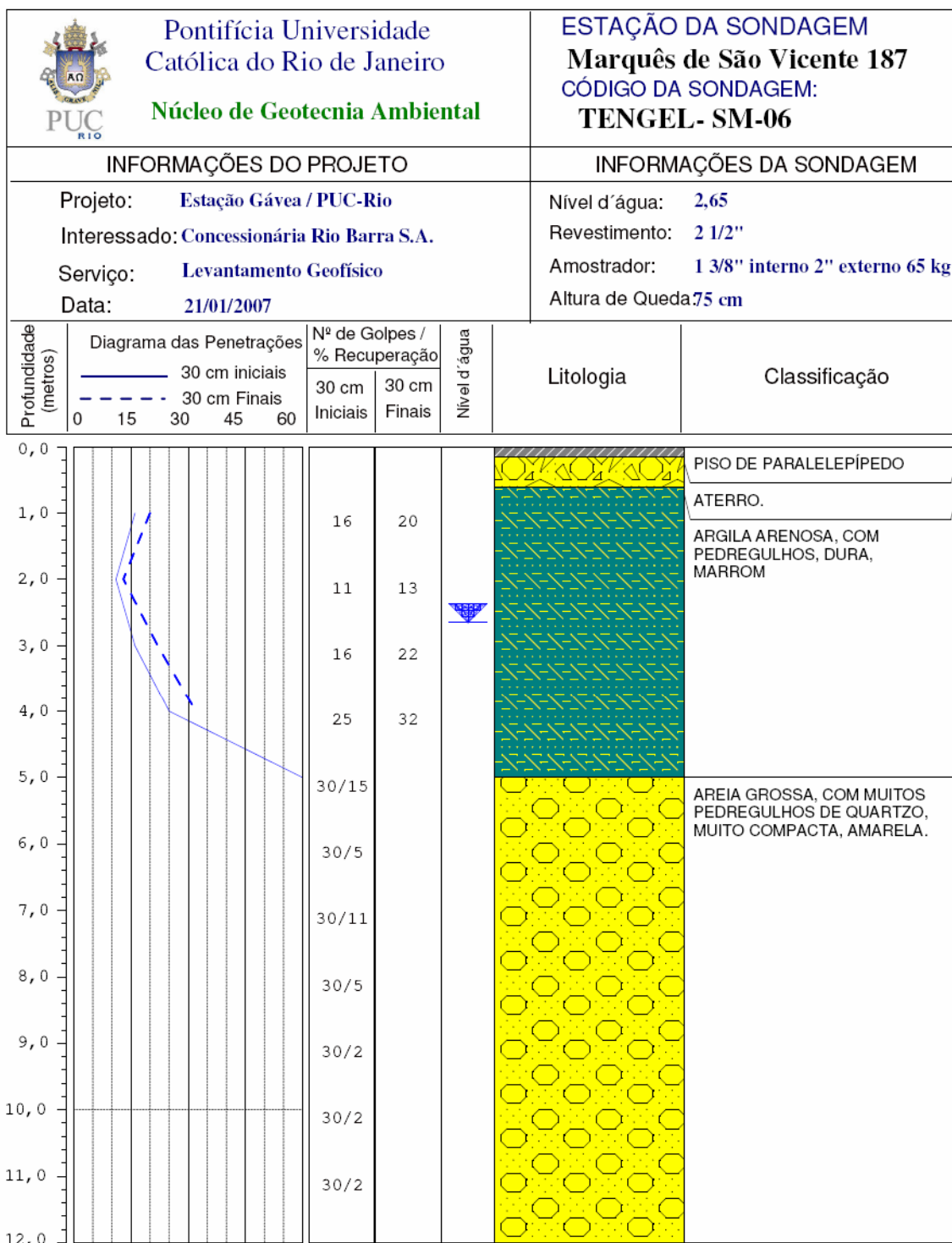


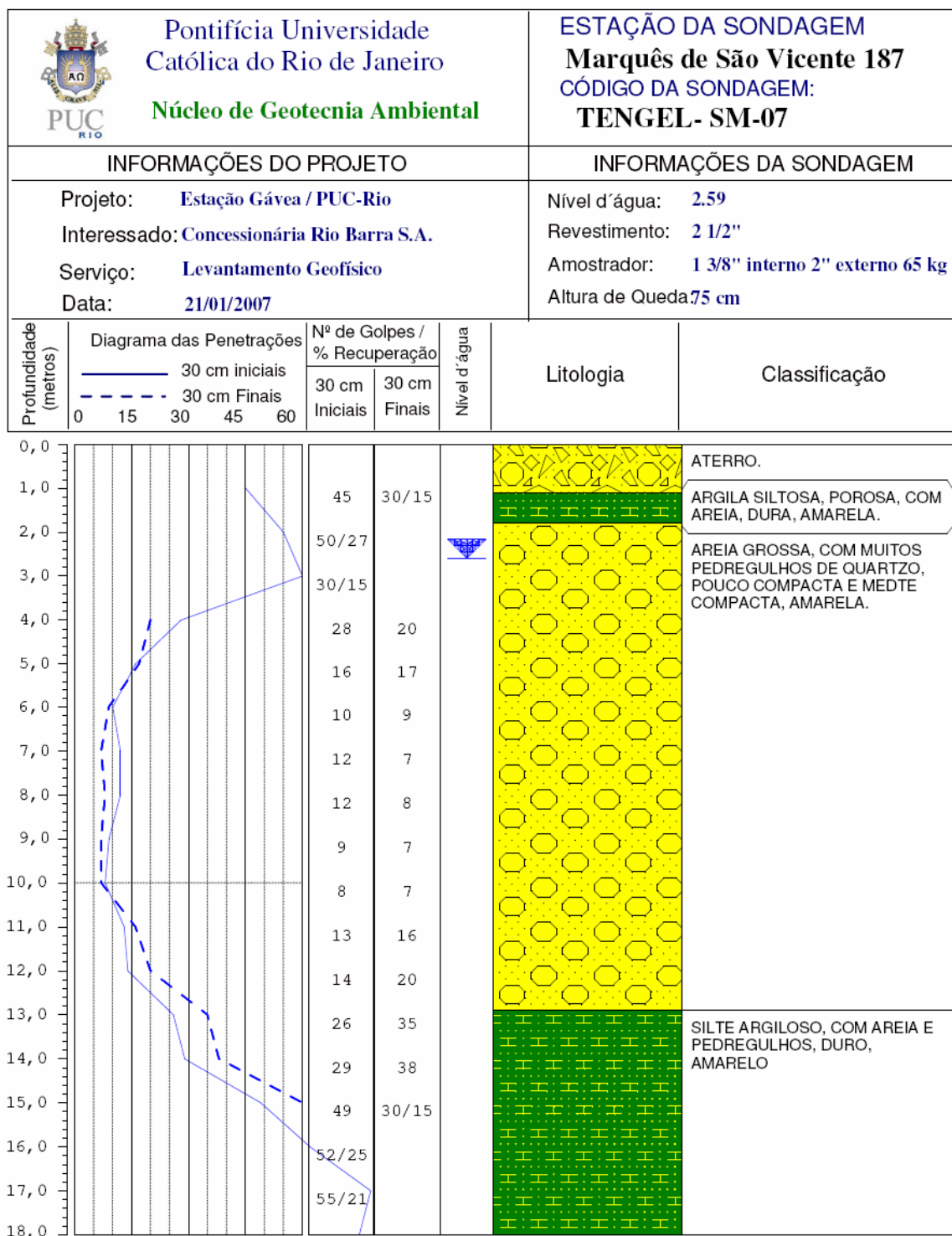


 <b>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro</b> <b>Núcleo de Geotecnia Ambiental</b>				<b>ESTAÇÃO DA SONDAGEM</b> <b>Marquês de São Vicente 187</b> <b>CÓDIGO DA SONDAGEM:</b> <b>SOLOTESTE - SM-04</b>			
INFORMAÇÕES DO PROJETO				INFORMAÇÕES DA SONDAGEM			
Projeto: <b>Estação Gávea / PUC-Rio</b> Interessado: <b>Concessionária Rio Barra S.A.</b> Serviço: <b>Levantamento Geofísico</b> Data: <b>02/01/2007</b>				Nível d'água: <b>0,90m</b> Revestimento: <b>2 1/2"</b> Amostrador: <b>1 3/8" interno 2" externo 65 kg</b> Altura de Queda: <b>75 cm</b>			
Profundidade (metros)	Diagrama das Penetrações		Nº de Golpes / % Recuperação		Nível d'água	Litologia	Classificação
	— 30 cm iniciais - - - 30 cm Finais	0 15 30 45 60	30 cm Iniciais	30 cm Finais			
0,0							ATERRO DE ENTULHO.
1,0			30/2				SÓLO RESIDUAL, MUITO COMPACTO.
2,0			30/2				
3,0			30/2				
4,0			30/2				
5,0			30/2				
6,0			30/2				
7,0			30/2				
8,0			30/2				
9,0			30/2				
10,0			30/2				

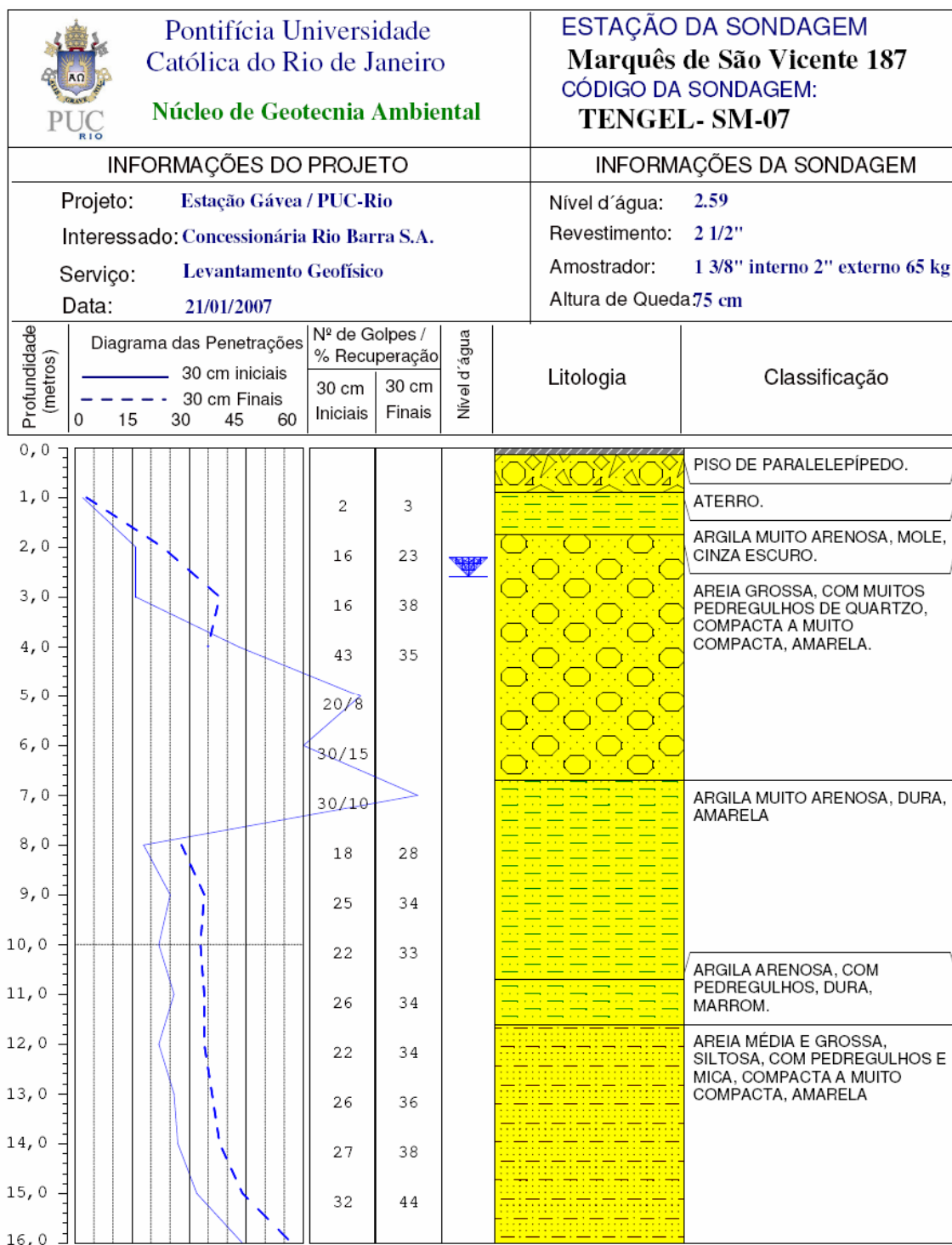


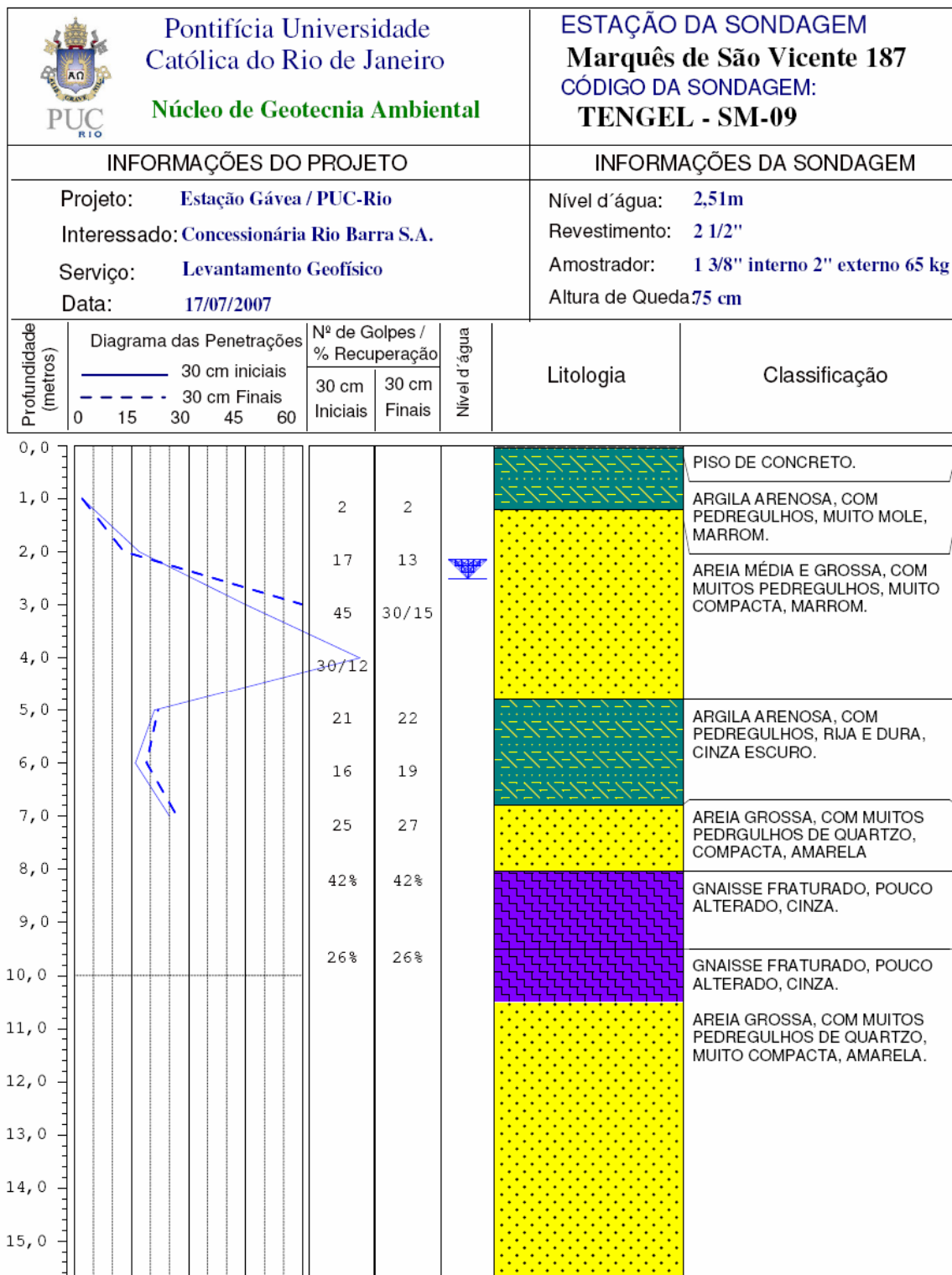




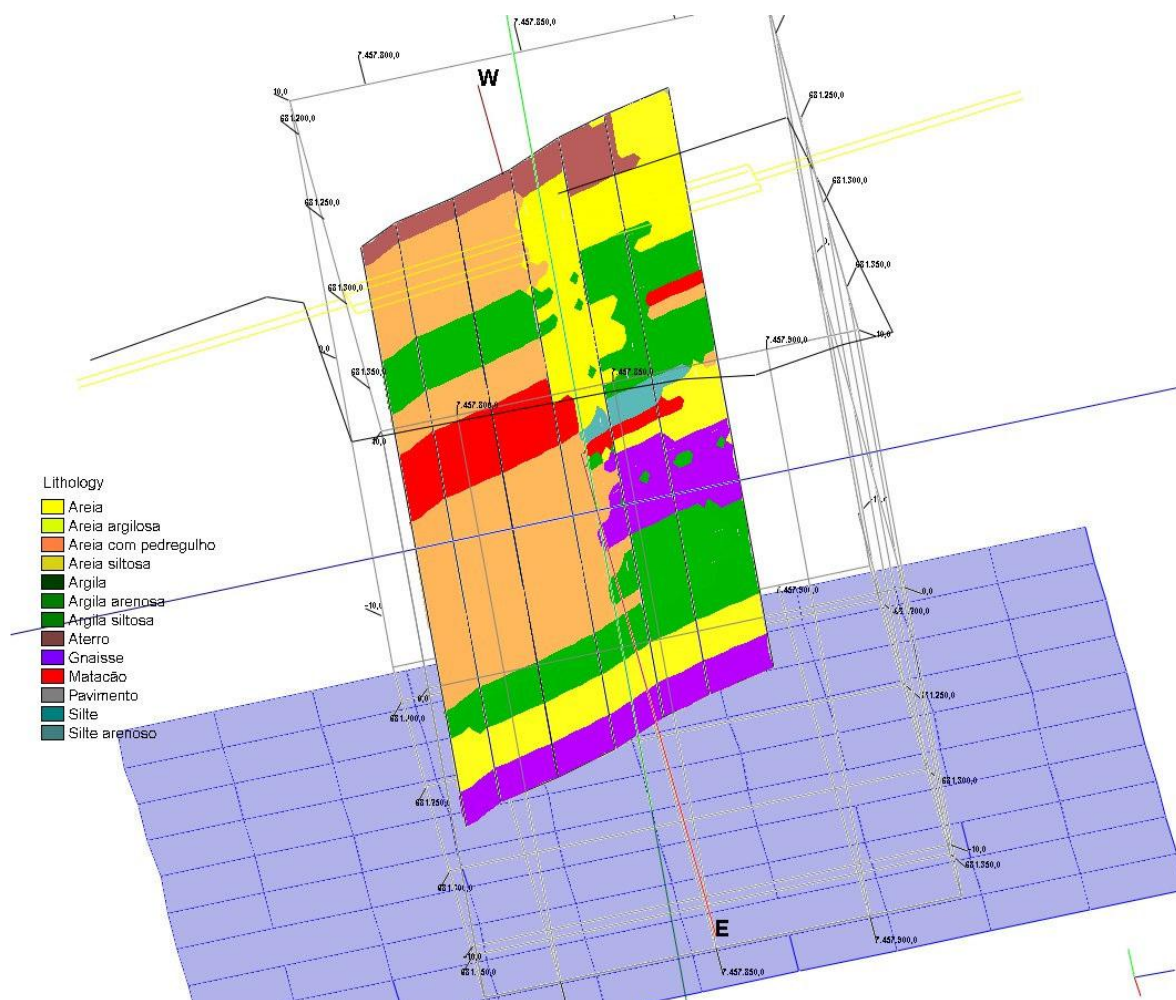


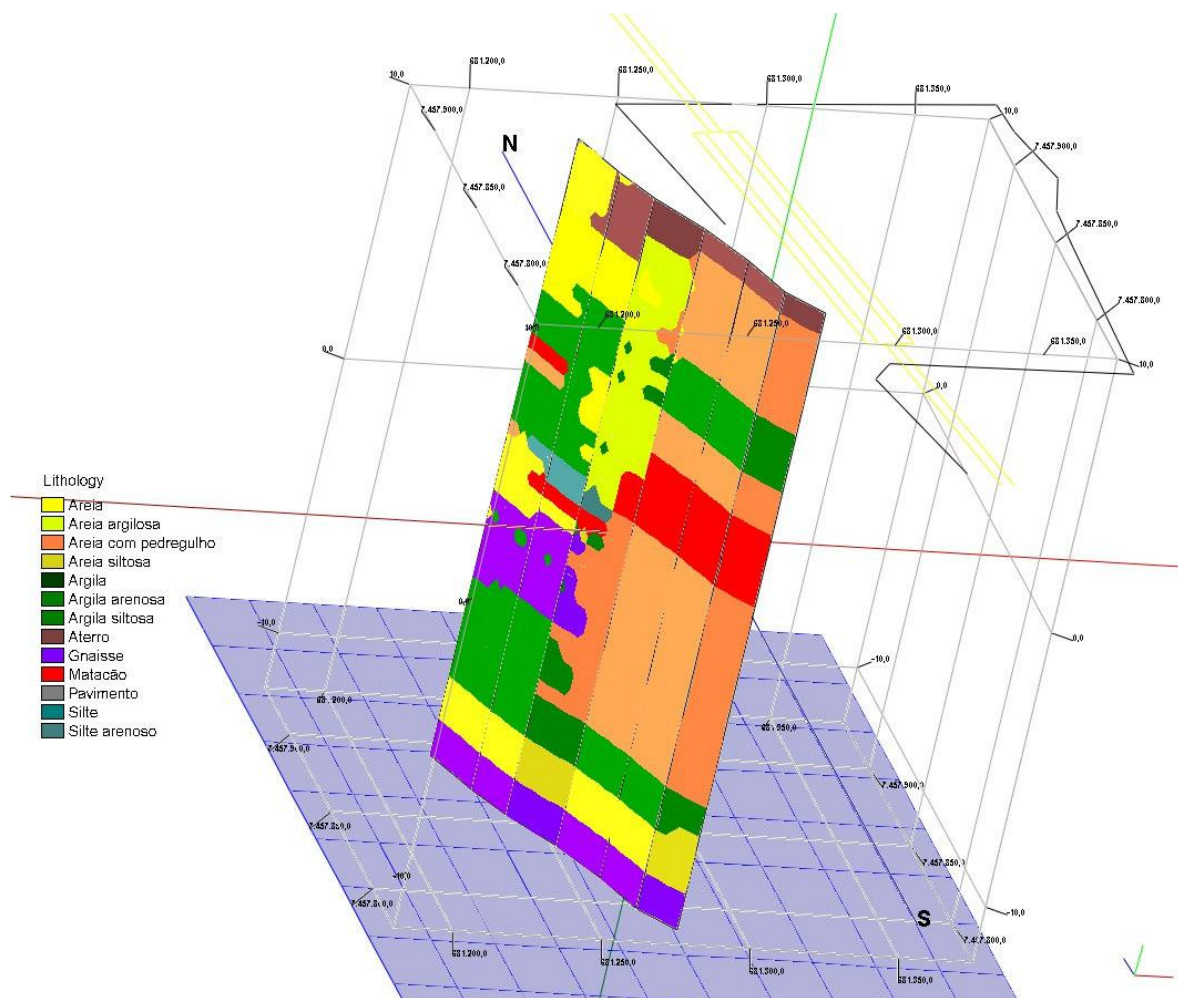


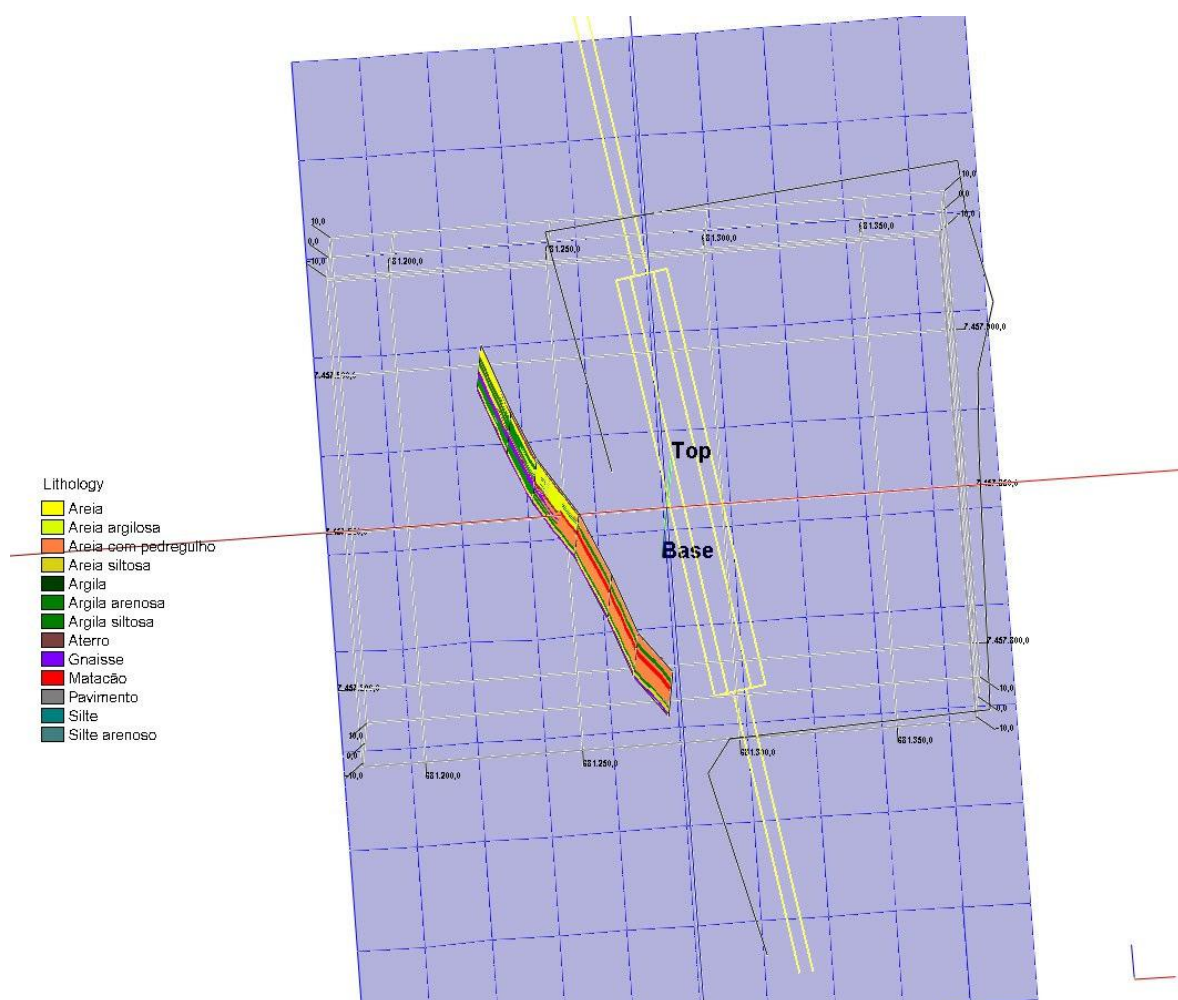




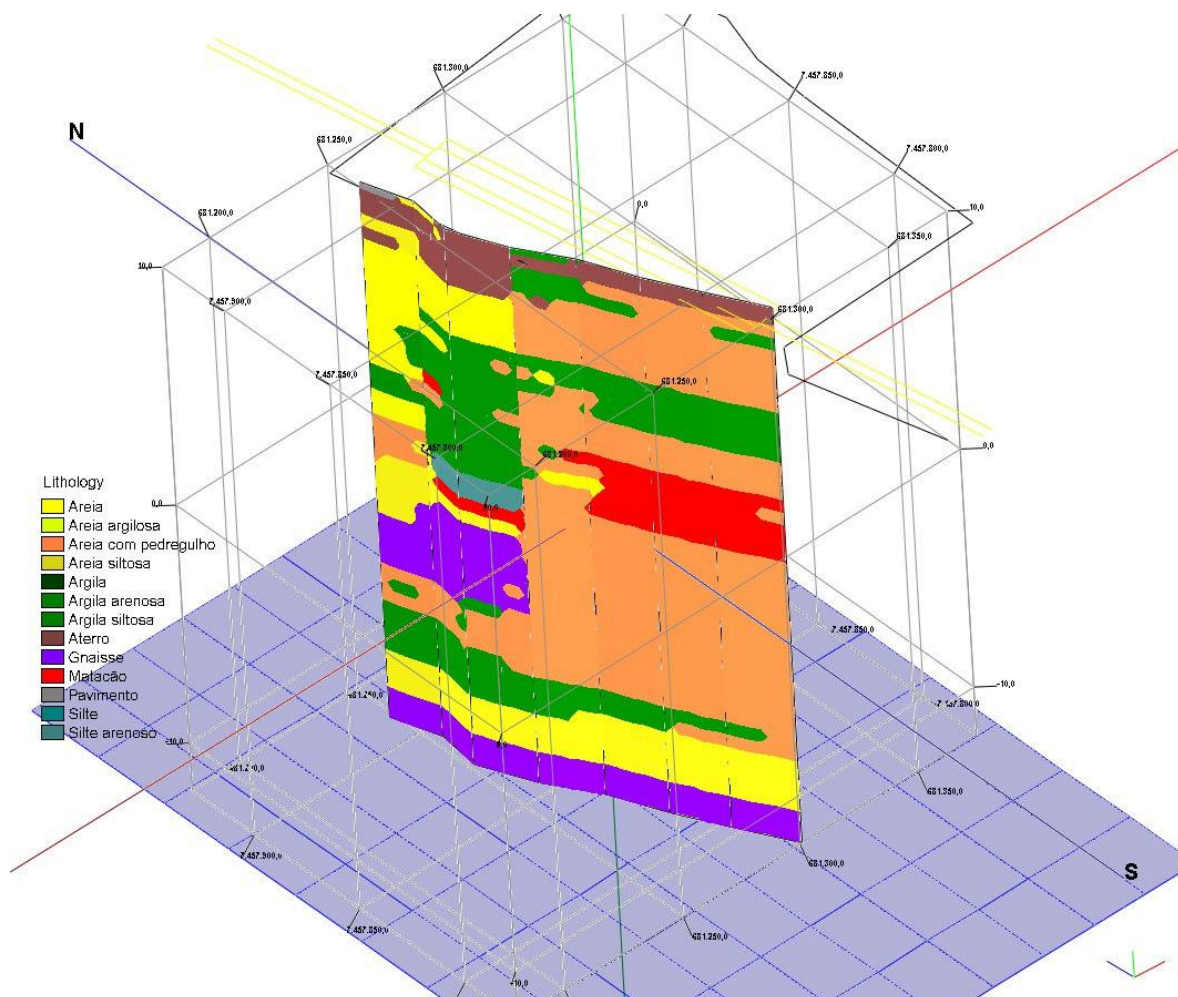
**APÊNDICE B****MODELO GEOLÓGICO PRELIMINAR**

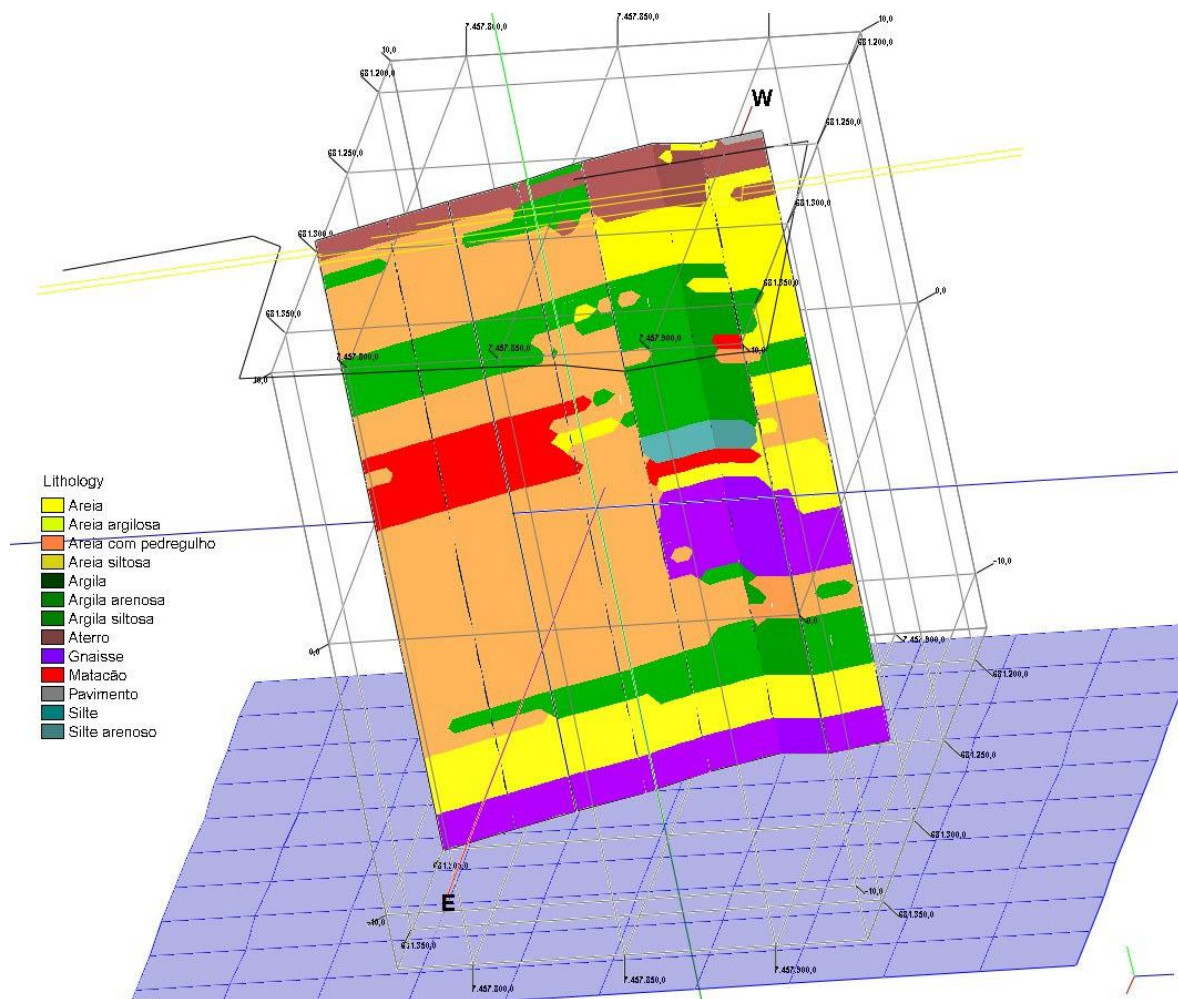




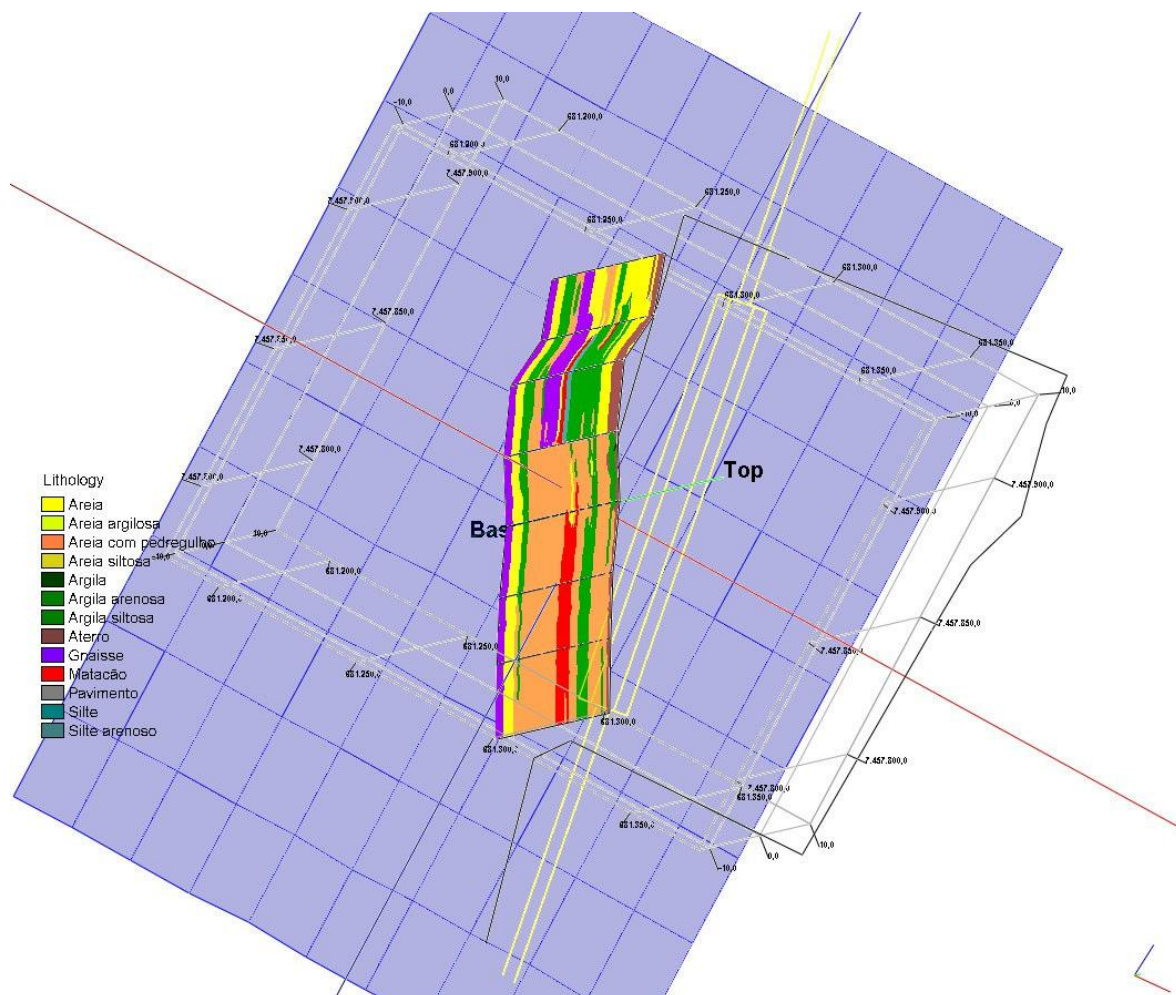


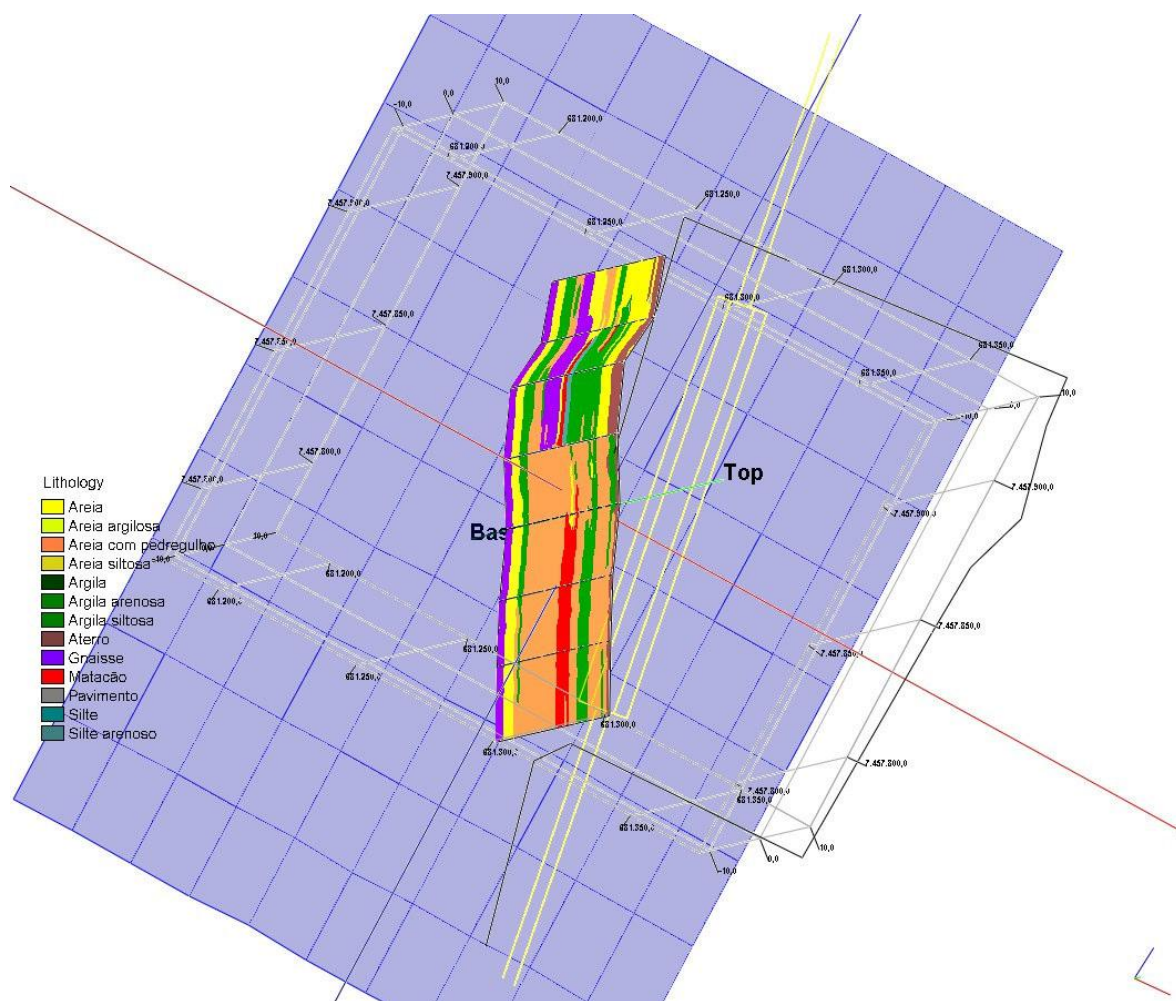


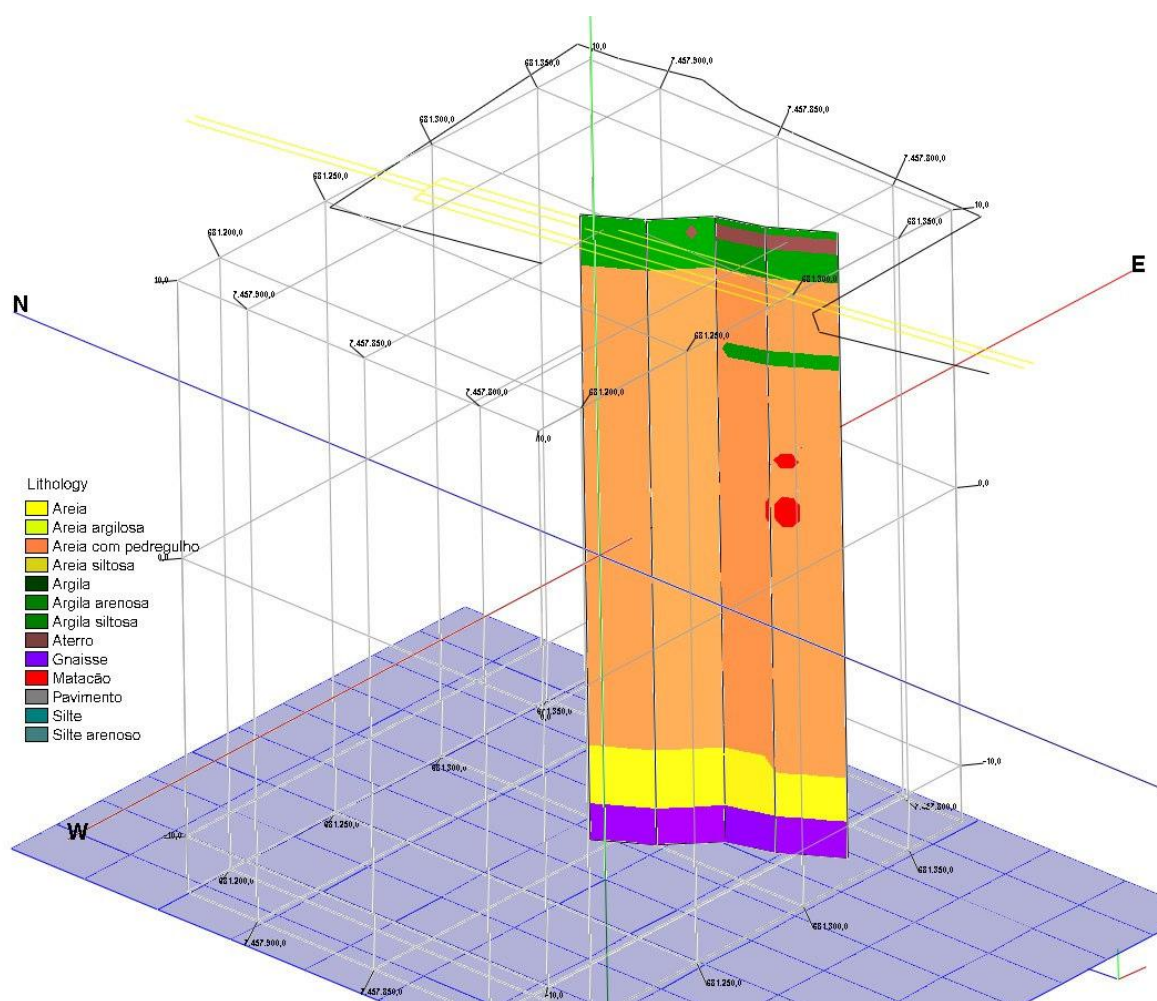




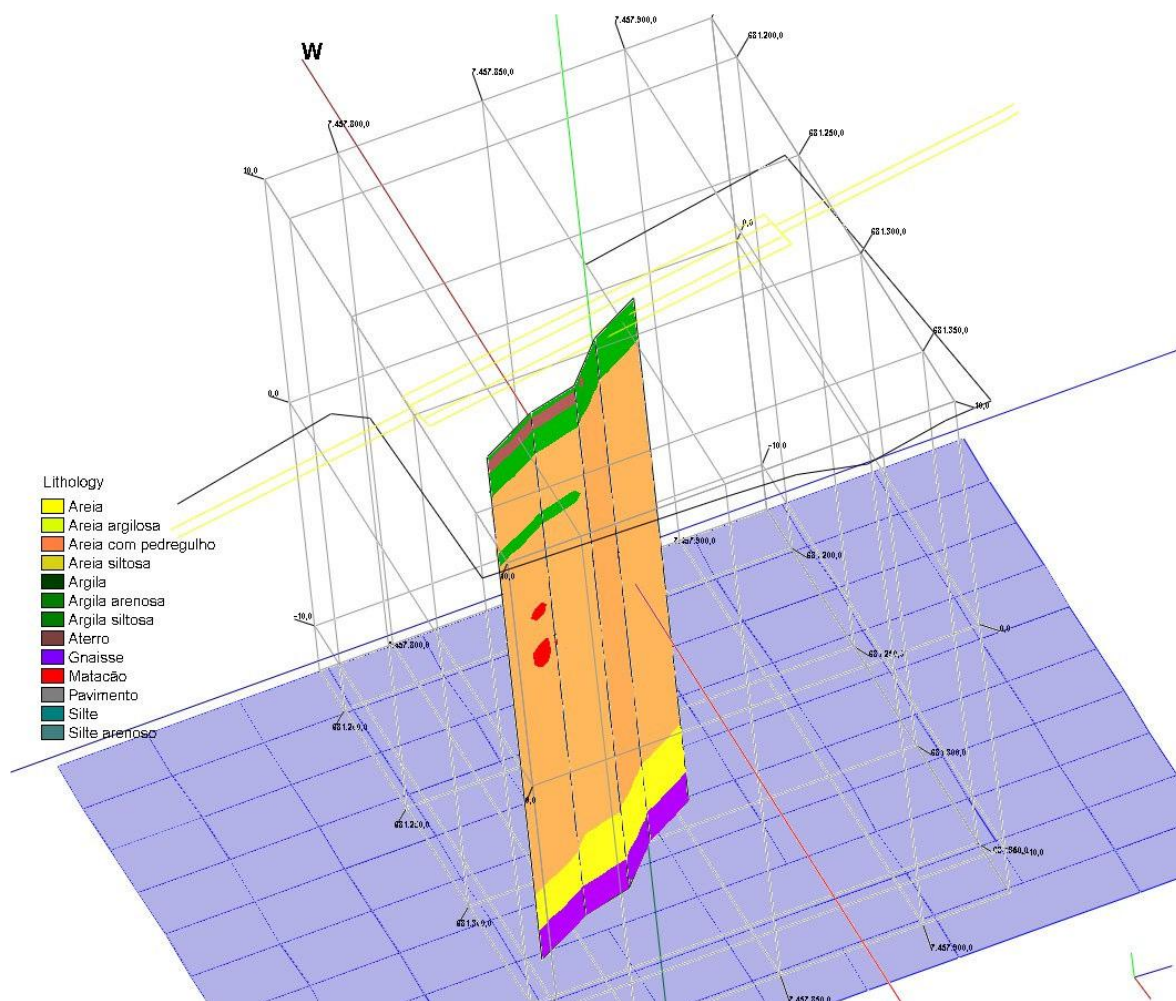


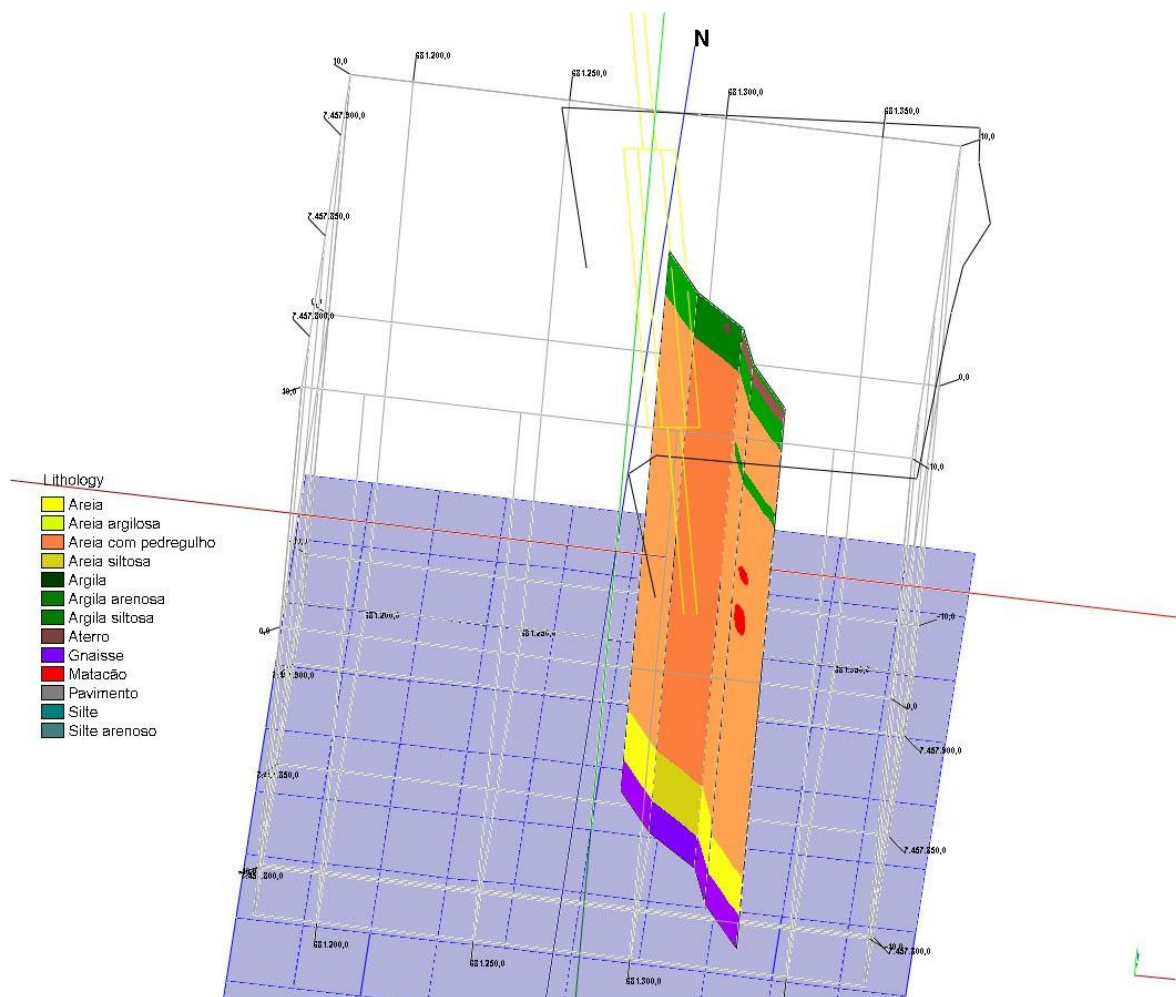


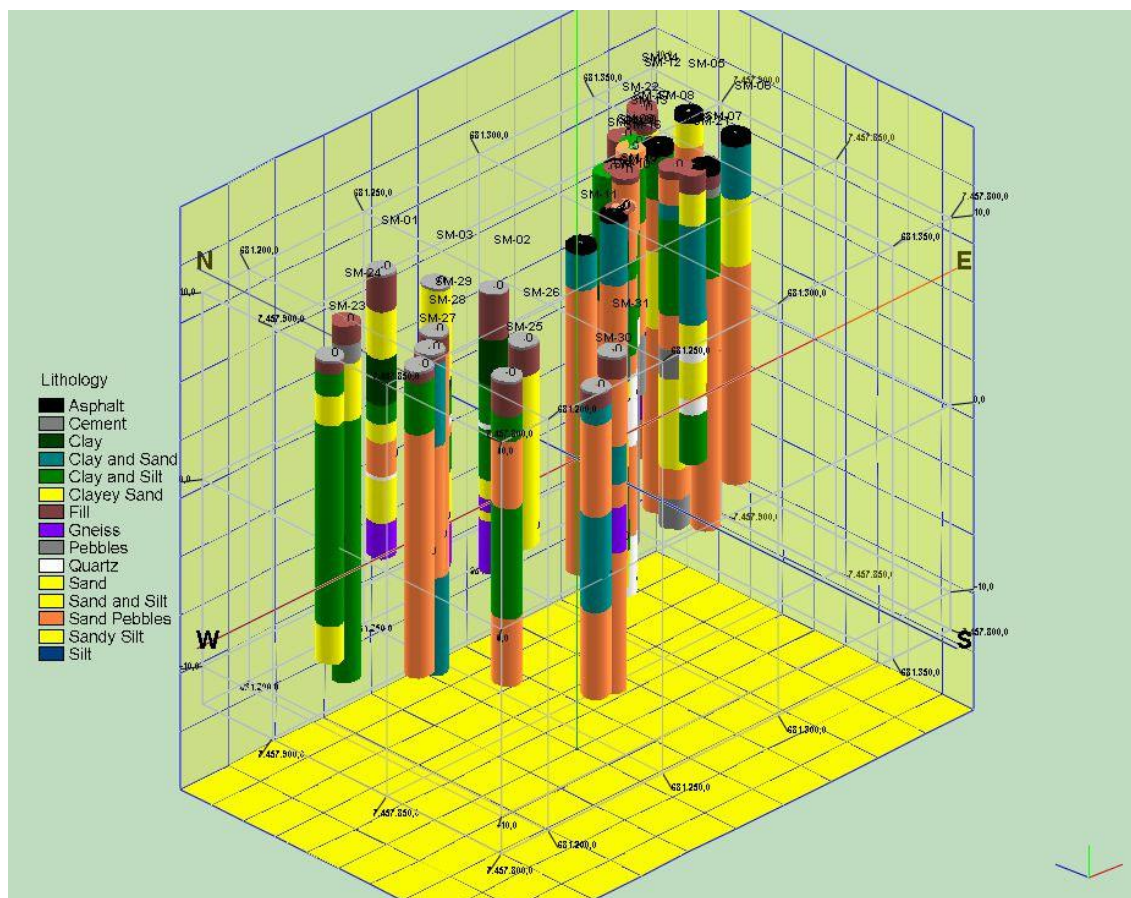




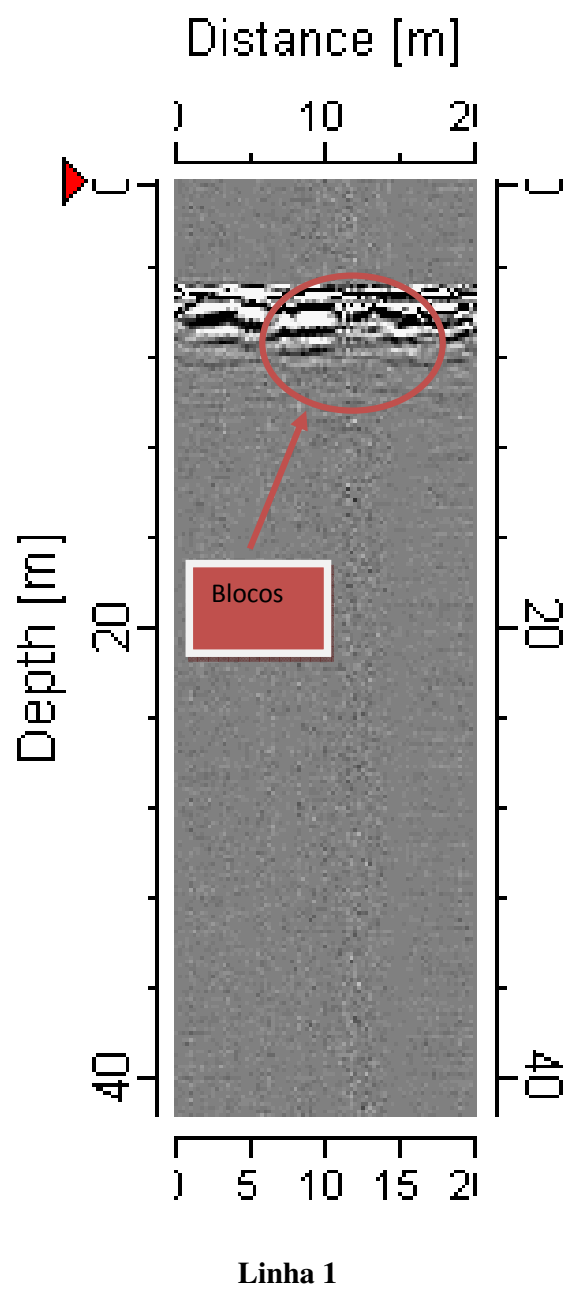




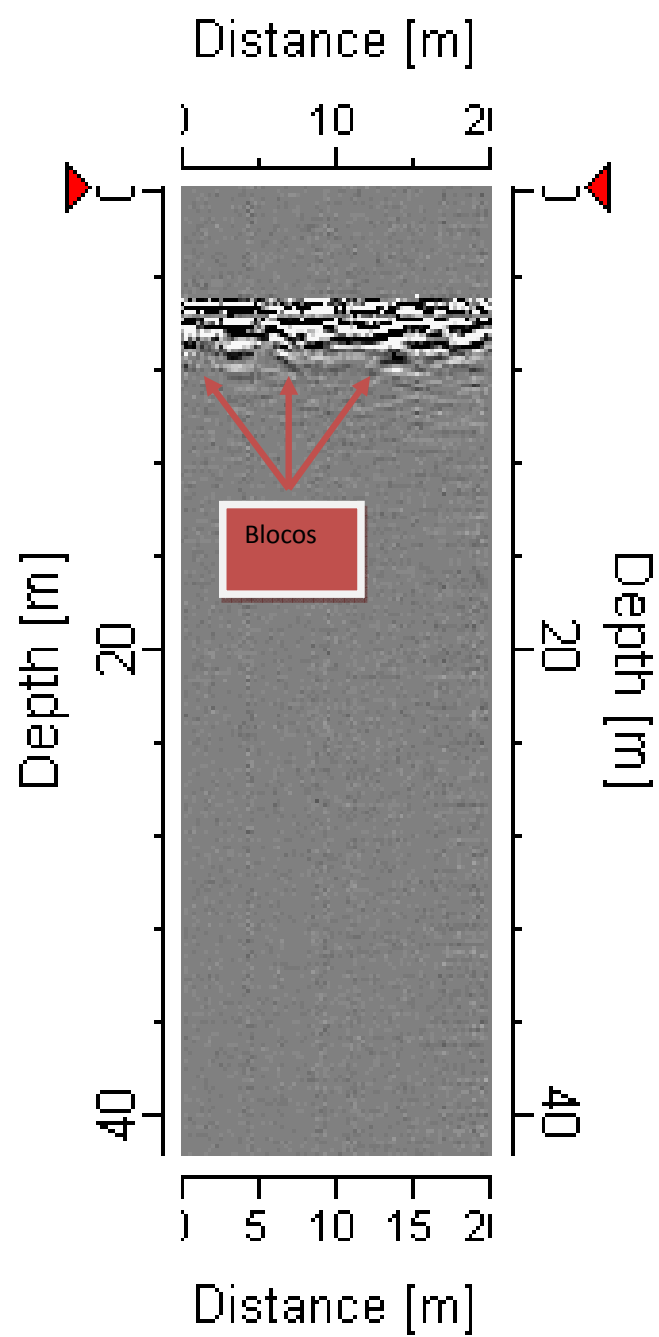




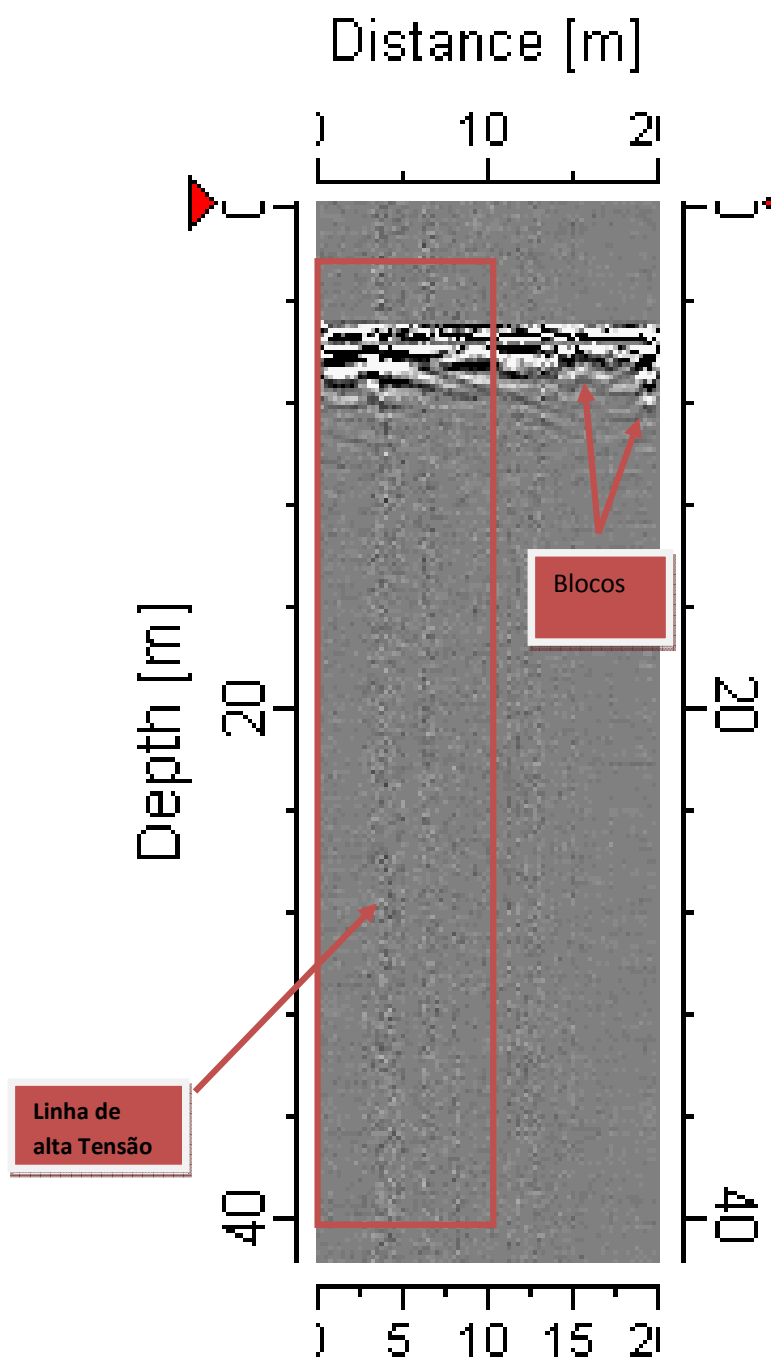
**APÊNDICE C**  
**RADARGRAMAS**



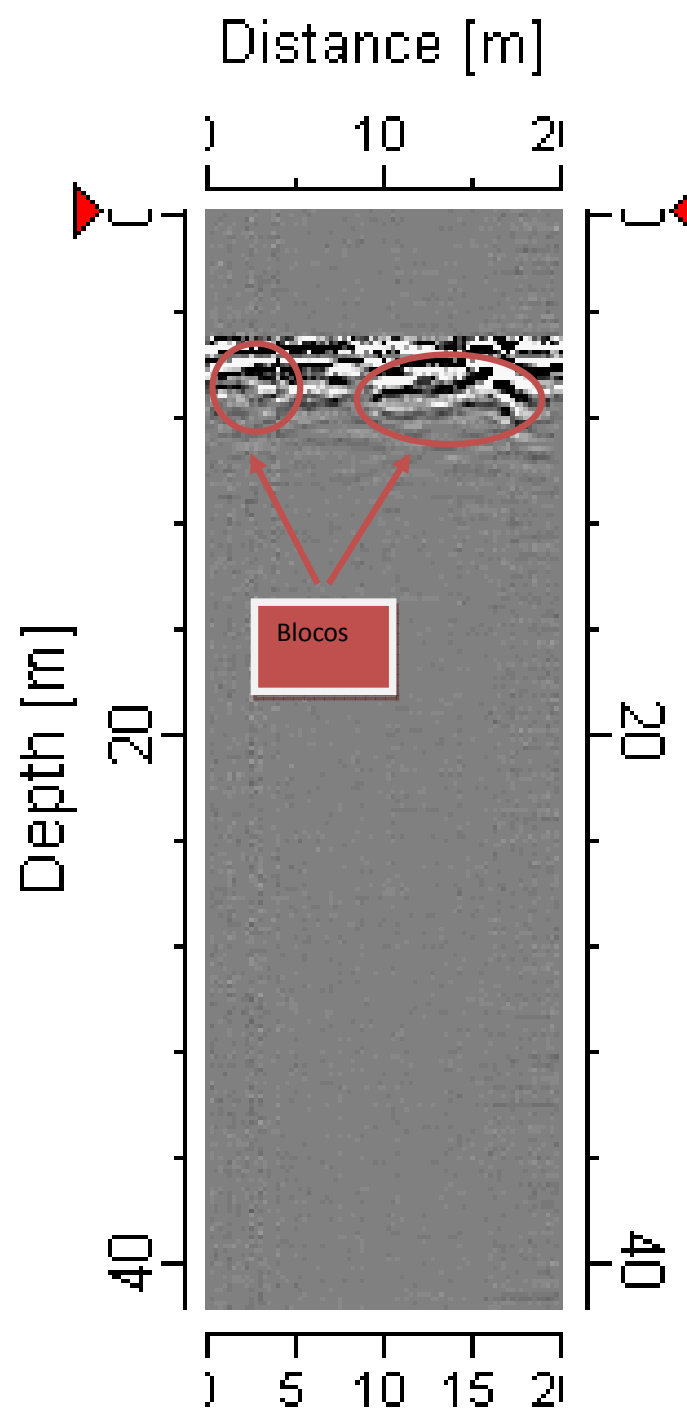




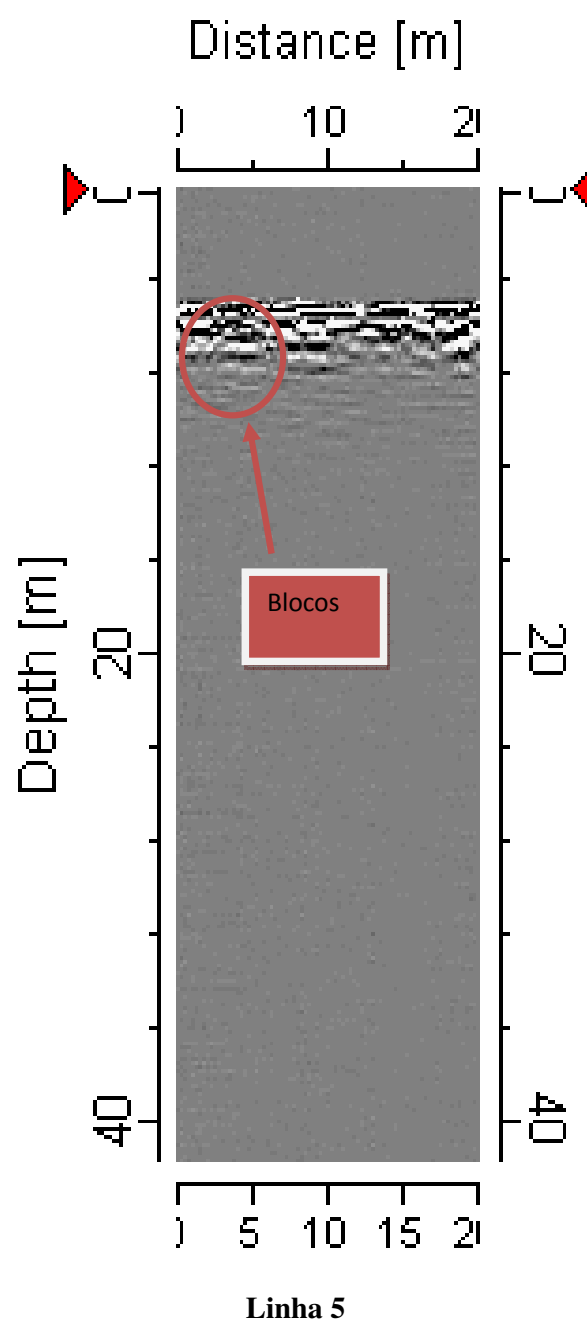
## Linha 2

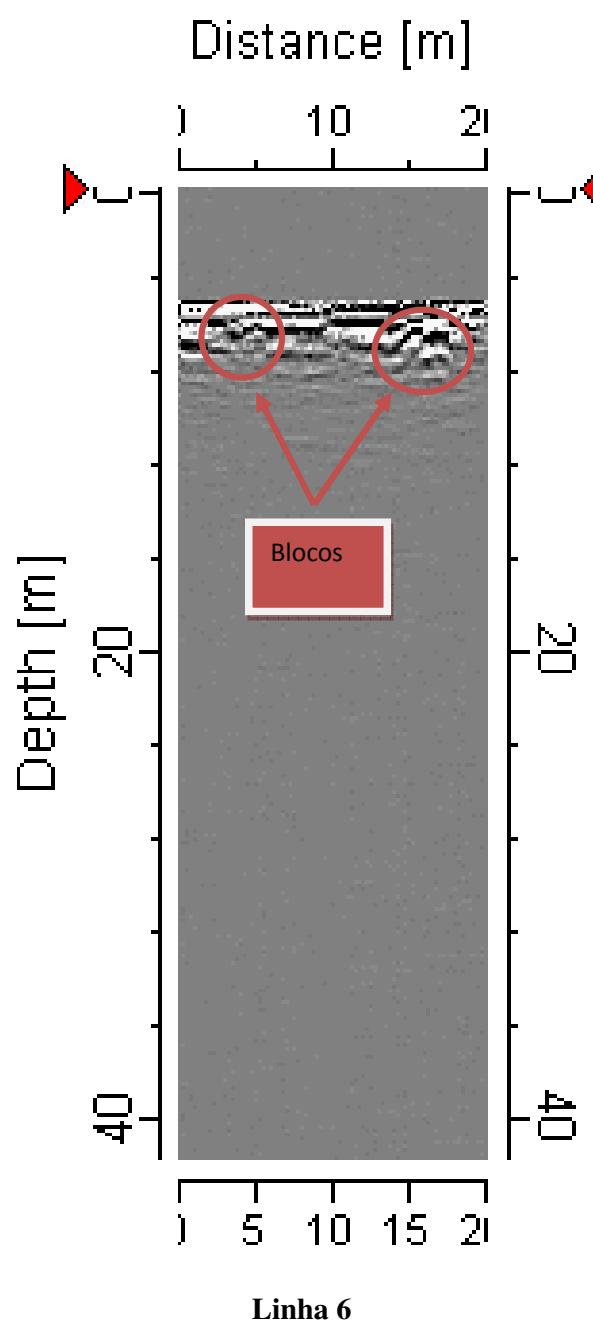


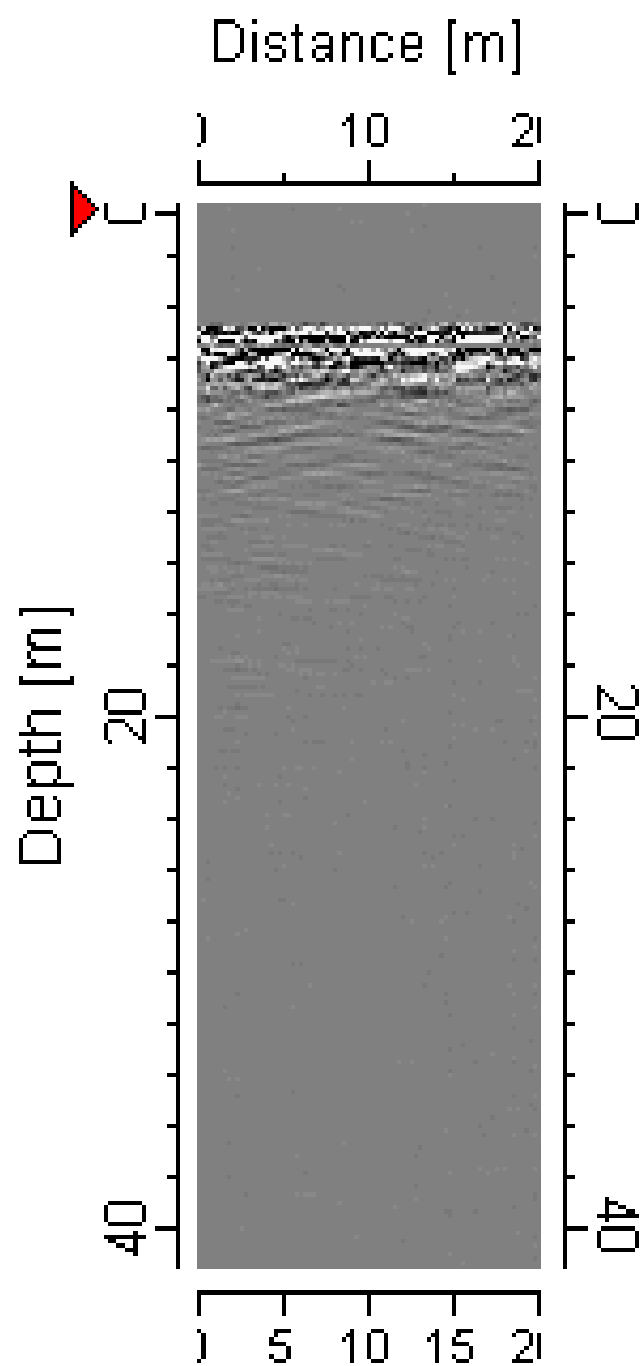
Linha 3



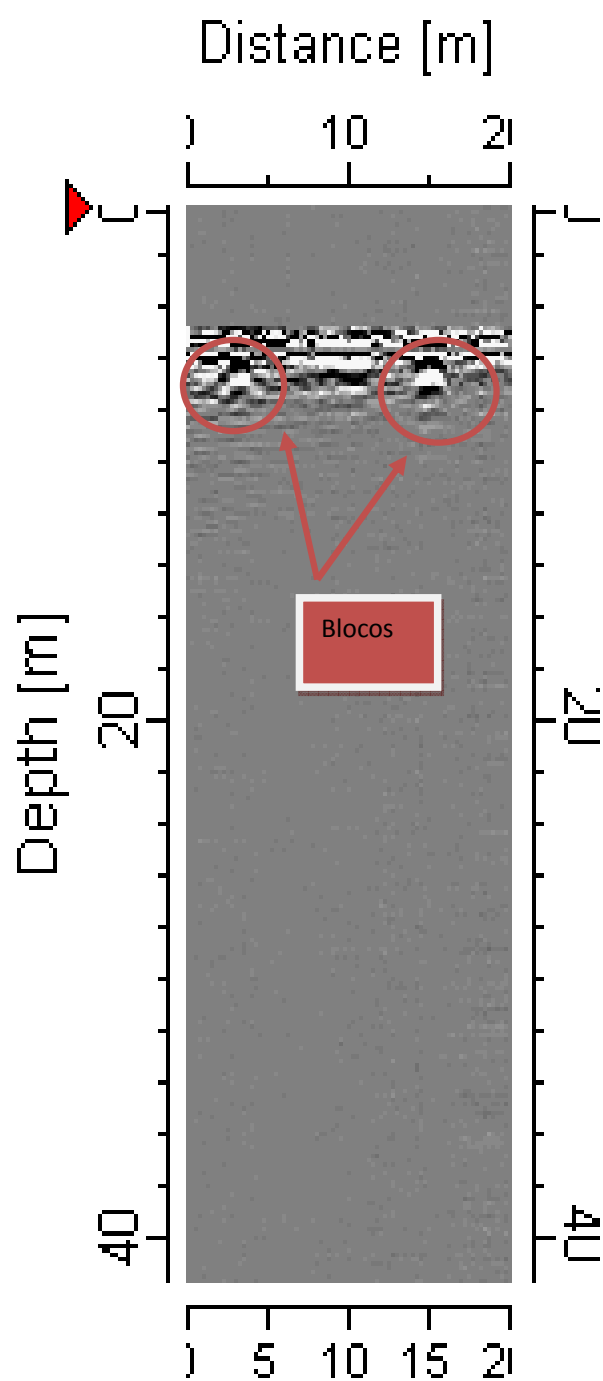
Linha 4



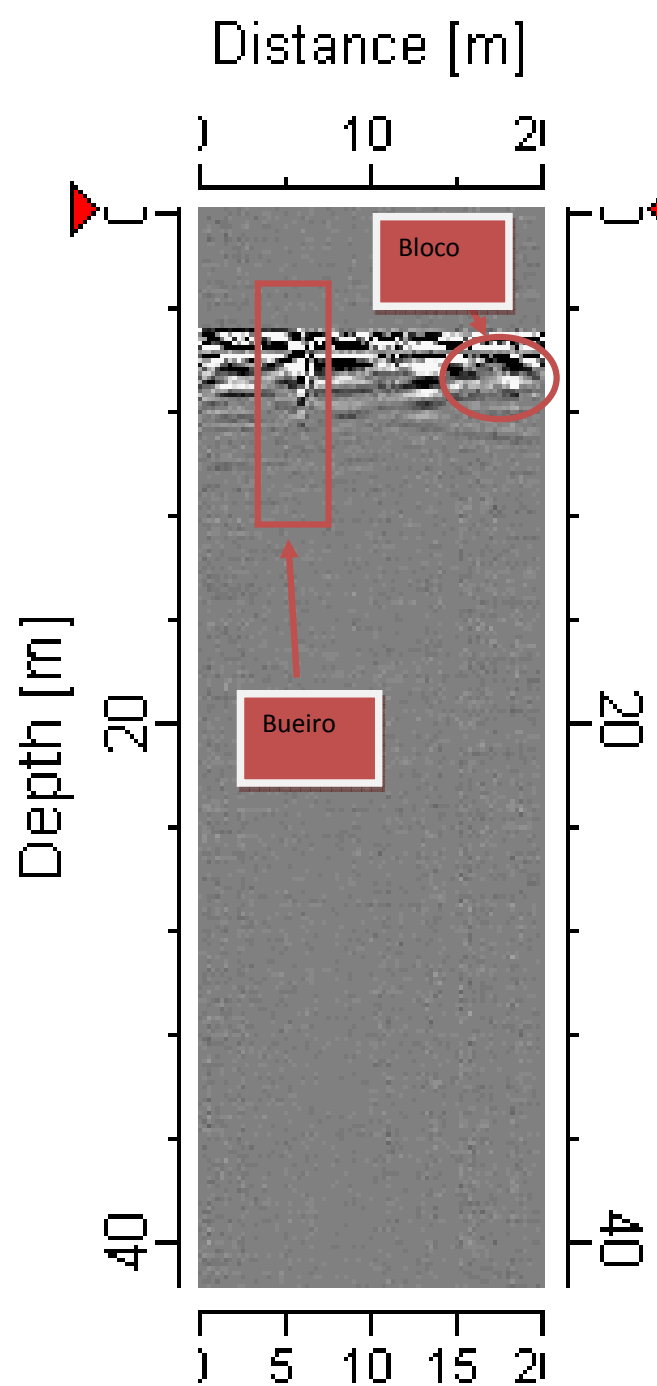




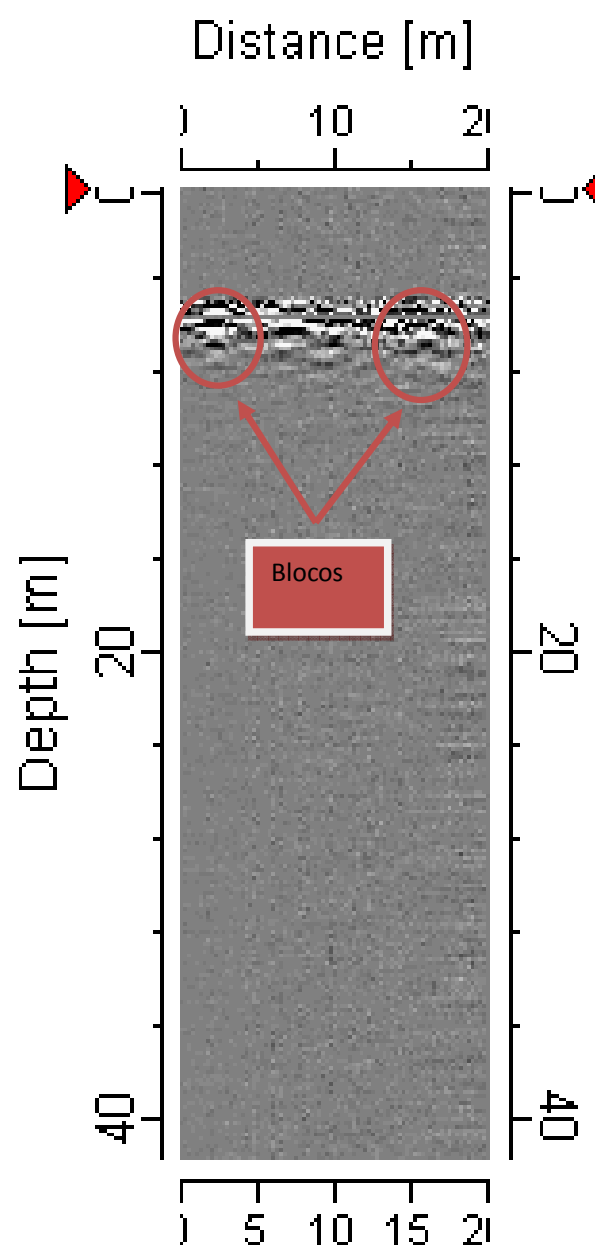
Linha 8

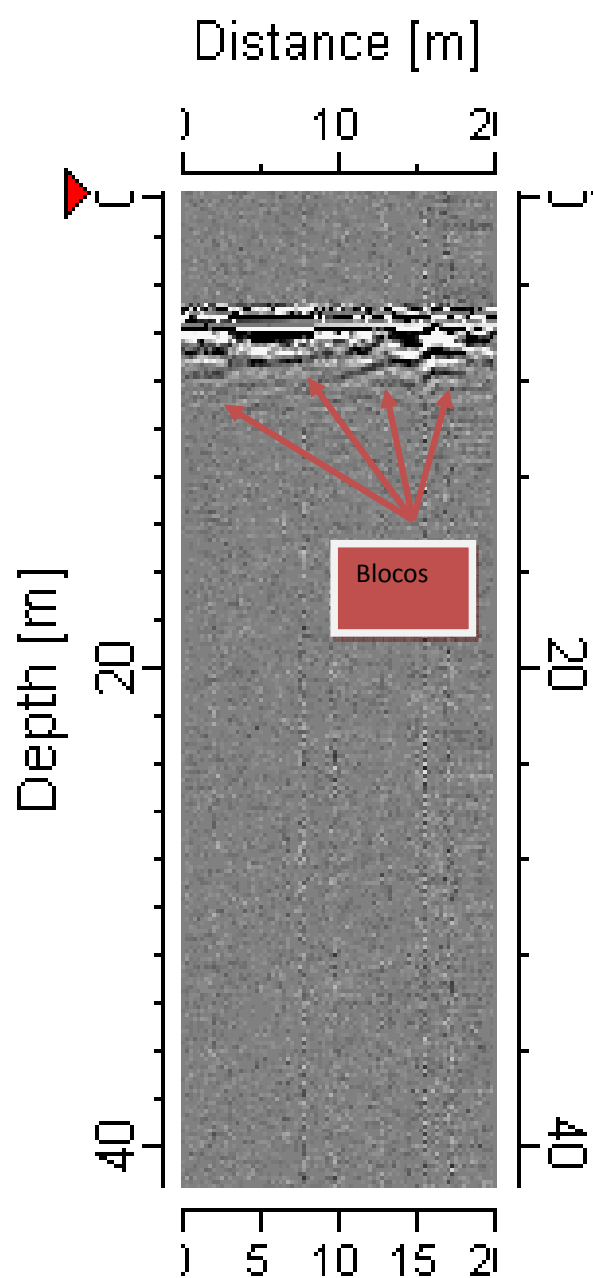


Linha 9

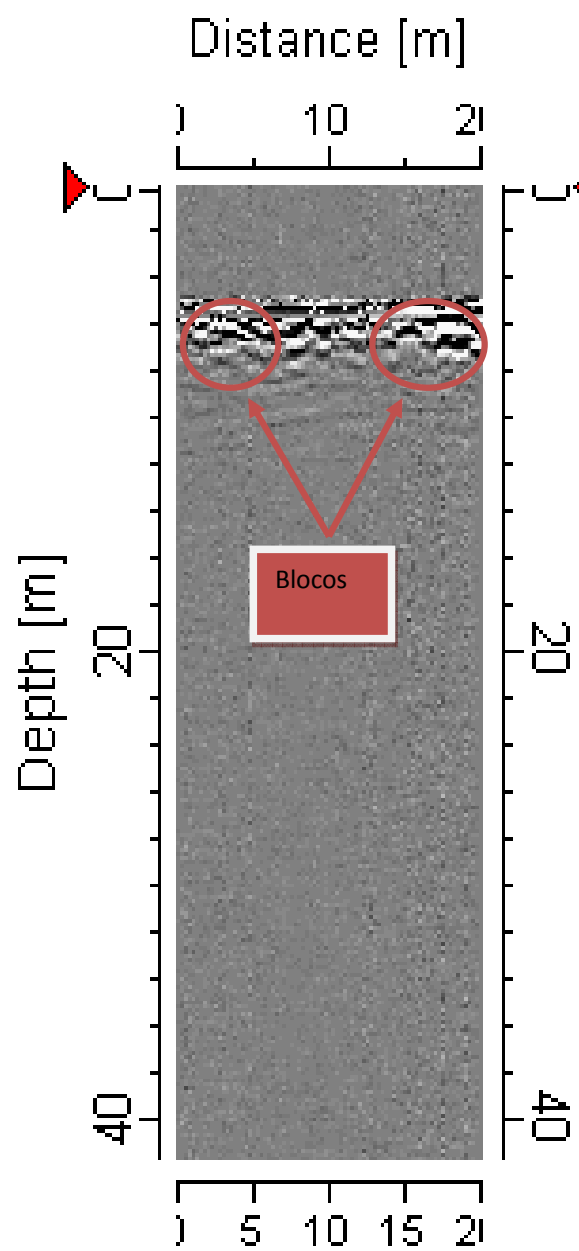




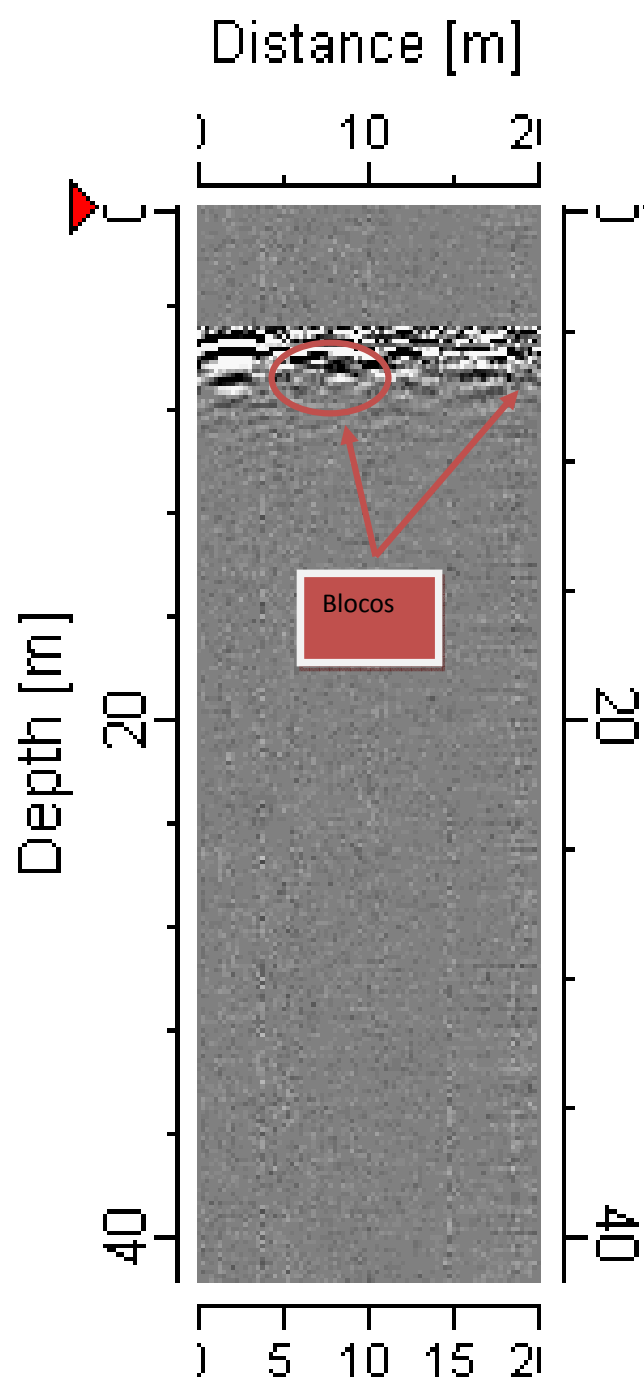




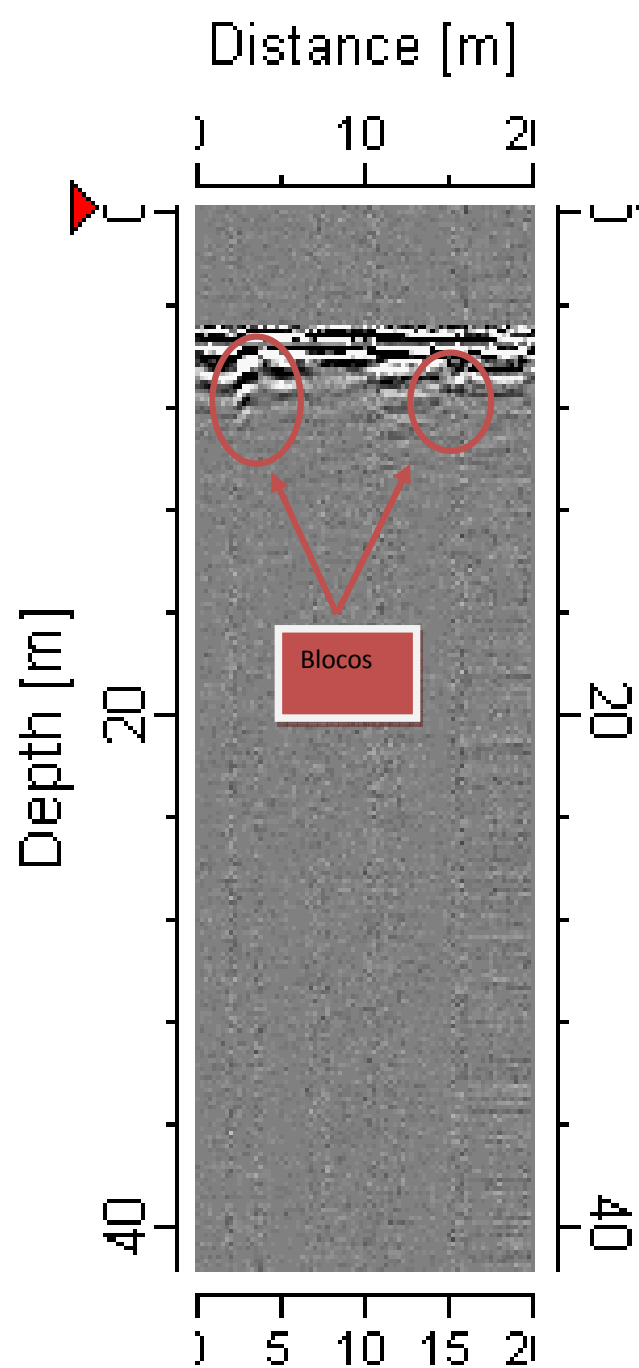
Linha 12

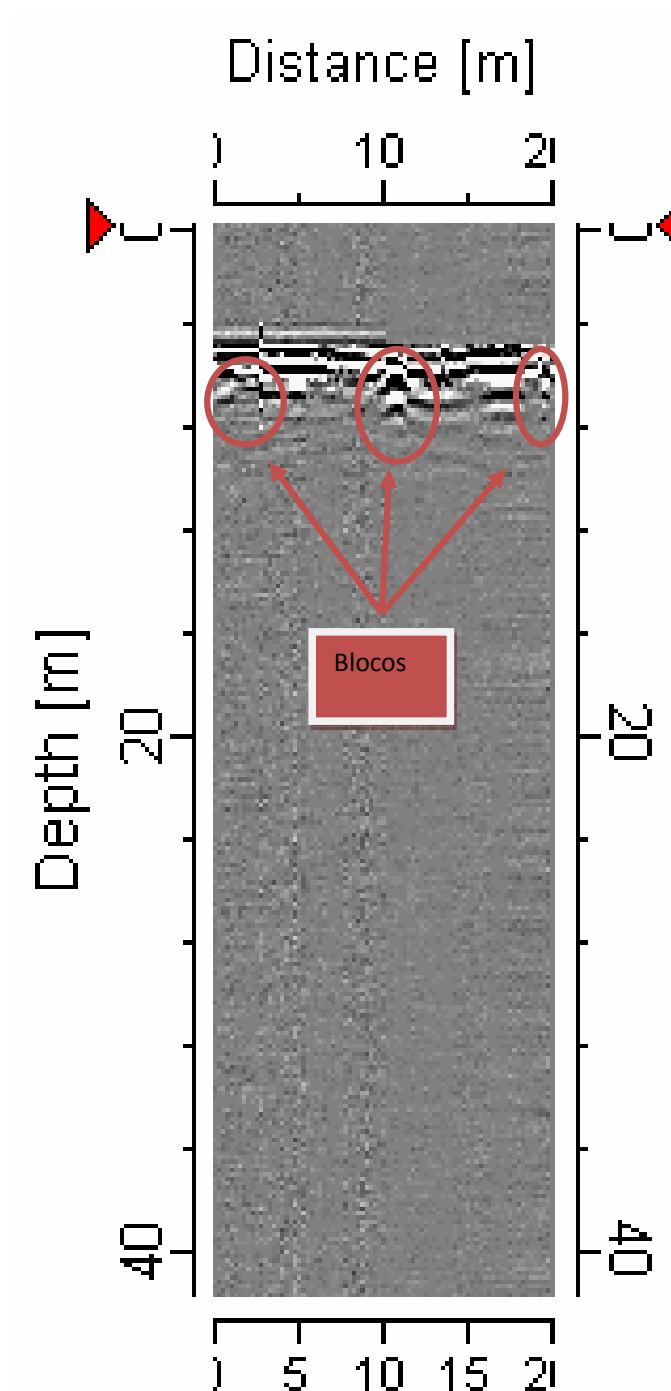


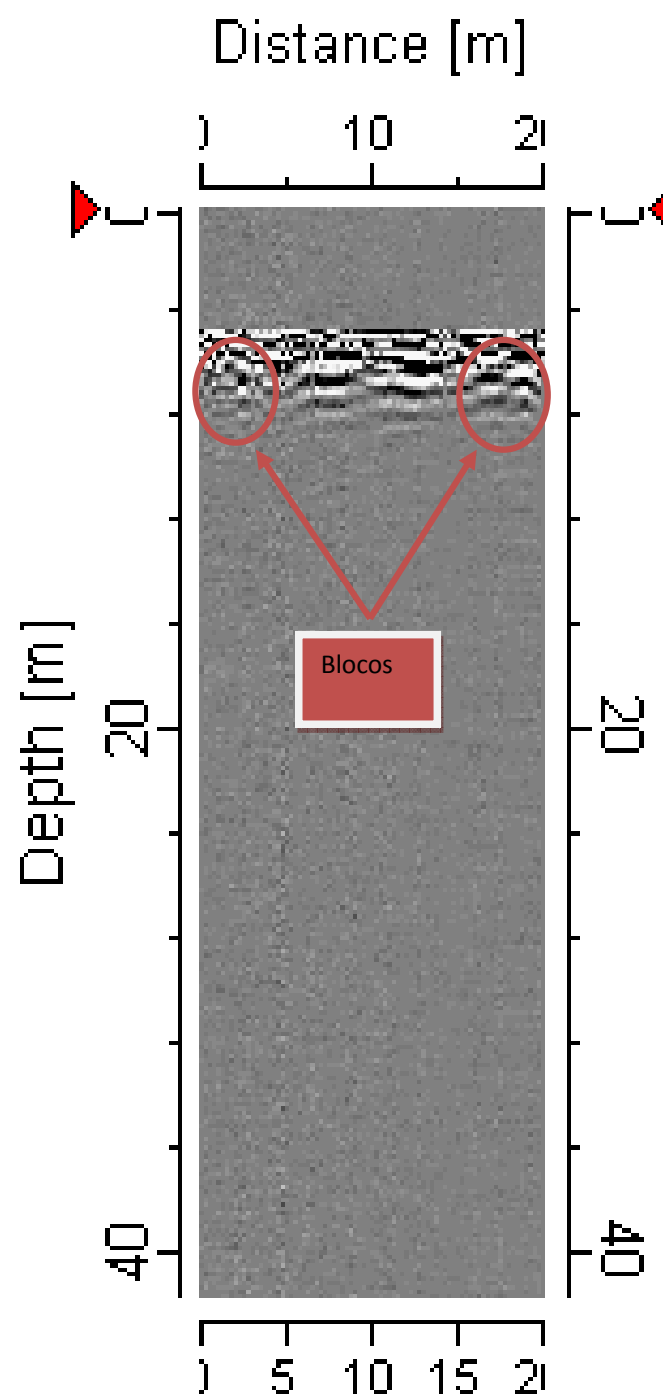
Linha 13



Linha 14







Linha 17

**APÊNDICE C.1****MODELO GEOLÓGICO**



